

REABILITAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DE FACHADAS NO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO

JOÃO ALBERTO AMORIM NUNES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

SETEMBRO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais e
ao meu irmão

Live as if you were to die tomorrow. Learn as if you were to live forever.

M. K. Gandhi

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer em primeiro lugar ao Professor Vítor Abrantes pelo seu apoio, disponibilidade e saber pois sem ele este trabalho não teria sido possível.

À Eng. Ana Vaz Sá pela motivação que me deu, disponibilidade e material fornecido.

Aos meus pais pelo constante apoio, atenção e preocupação, pela força que me deram durante todo o trabalho, que me puxaram para cima quando eu parecia que me ia abaixo.

Por último, mas não menos importantes, a todos os meus amigos e colegas que sempre me incentivaram a continuar o trabalho e me ajudaram pondo-se à minha disposição para o que fosse preciso.

RESUMO

A construção em Portugal é vista como um sector virado para si, pouco avançado tecnologicamente e excessivamente conservador. As necessidades de habitação nas décadas de 80 e 90 fizeram com que este sector tivesse uma expansão desmesurada, construindo-se em muita quantidade mas com pouca qualidade.

Actualmente verifica-se uma estagnação na necessidade de novas habitações e o parque habitacional recentemente construído apresenta várias e diversas patologias. Ao mesmo tempo impõe-se a diminuição do consumo energético das habitações e aumentam as necessidades de conforto e qualidade dos mesmos.

Urge por isso a criação de mecanismos nas empresas para que estas se virem para a manutenção e reabilitação do património degradado, não só como via de subsistência do sector e por necessidade do próprio parque habitacional, mas também com vista a caminhar para uma sociedade mais sustentável.

Existem diversas opções no que toca à reabilitação térmica de fachadas sendo por isso difícil escolher a melhor em termos de eficácia, custos e durabilidade.

Este trabalho apresenta numa primeira parte uma descrição do estado da construção em Portugal, com referência à evolução das fachadas no nosso país, incluindo sistemas e soluções construtivas existentes, necessidades de reabilitação de edifícios degradados e também as novas exigências em relação à sustentabilidade, conforto e qualidade dos edifícios. Por fim descrevem-se as principais patologias existentes actualmente em fachadas resultantes de deficiências patentadas nos edifícios a nível térmico.

Numa segunda parte são apresentados diversos casos onde se descrevem os tipos de reabilitação de fachadas passíveis de serem aplicados, com as respectivas vantagens e desvantagens, cuidados a ter na aplicação e a comparação entre as soluções à luz do novo regulamento de térmica, o RCCTE. Em seguida refere-se a influência da higrtermia na térmica dos edifícios, apresentando um caso de estudo de um edifício com uma fachada reabilitada, sendo propostas soluções para minimizar e eliminar patologias resultantes de deficiências a nível higrtermico.

Por fim é efectuada uma comparação final entre as soluções de reabilitação, referindo-se em que casos é que devem ser adoptadas e as respectivas diferenças existentes.

PALAVRAS-CHAVE: reabilitação, térmica, isolamento, fachadas, centro histórico.

ABSTRACT

Construction in Portugal is viewed as a self centered sector, technologically little advanced and excessively conservative. The dwelling needs in the 80's and 90's forced an unmeasured expansion in this sector, building in great quantity but with little quality.

Nowadays, new dwelling needs have stabilized and the recently constructed dwelling stock presents various and diverse pathologies. At the same time, the reduction of the energy consumption in dwelling assumes great importance as the needs of comfort and quality grows.

It urges then the creation of mechanisms in companies so that they turn themselves to the maintenance and rehabilitation of the degraded patrimony, not only as a way for the sector subsistence and because of the need of the dwelling itself, but also as a way to achieve a more sustainable society.

There are several options regarding thermal rehabilitation of façades, which makes it difficult to choose the best, considering its effectiveness, cost and durability.

This work presents first a description of Portugal's construction situation, with references to the façade evolution in our country, including existing systems and construction solutions, degraded building rehabilitation needs and also the new demands regarding building sustainability, comfort and quality. At last, the main pathologies found nowadays in façades resulting from thermal deficiencies existing in buildings are described.

Secondly, several cases are presented, describing the different types of façade rehabilitation possible of being applied, with their respective advantages and disadvantages, the diligences to be considered while applying and the comparison between solutions regarding the new thermal regulation, the "RCCTE". Then it's referred the influence of hygrothermic conditions on the thermal of a building, through a case study of a building with a rehabilitated façade, with solutions to minimize the pathologies resulting from hygrothermic deficiencies.

Finally a comparison between rehabilitation solutions is made, and it's indicated in which cases should they be adopted and the respective differences between them.

KEYWORDS: rehabilitation, thermal, insulation, façade, historical centre.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. OBJECTIVOS	1
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	1
 2. A CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL	 3
2.1. A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO	3
2.2. DIFICULDADES NO INVESTIMENTO EM REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS	4
2.3. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	5
2.3.1. CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE	5
2.3.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	6
2.3.3. CONSUMO DE ENERGIA NOS EDIFÍCIOS	7
2.3.4. A IMPORTÂNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO	9
2.3.5. PRINCIPAIS GRUPOS DE MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO	10
2.3.6. EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	11
2.4. EVOLUÇÃO DA CONCEPÇÃO DAS FACHADAS NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL	12
 3. FACHADAS - ESTADO DA ARTE	 15
3.1. SISTEMAS CONSTRUTIVOS	15
3.1.1. GENERALIDADES	15
3.1.2. TAIPA	15
3.1.3. ADOBE	16
3.1.4. BLOCO DE TERRA COMPRIMIDO - BTC	16
3.1.5. TÉCNICAS TRADICIONAIS – BETÃO ARMADO E ALVENARIA DE TIJOLO	16
3.1.6. BETÃO LEVE DE AGREGADOS DE ARGILA EXPANDIDA	17
3.1.7. LIGHT GAUGE STEEL FRAMING - LGSF	17
3.1.8. BLOCO DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO	19

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	19
3.2.1. GENERALIDADES	19
3.2.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS	20
3.2.3. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR	26
3.2.4. PAREDE DE TROMBE	31
3.2.5. FACHADA VENTILADA	33
3.3. PATOLOGIAS FREQUENTES EM FACHADAS	36
3.3.1. GENERALIDADES	36
3.3.2. FISSURAS	37
3.3.3. EMPOLAMENTO E DESTACAMENTO	39
3.3.4. MANCHAS DE HUMIDADE, FUNGOS E BOLORES	39
3.3.5. EFLORESCÊNCIAS E CRIPTOFLORESCÊNCIAS	42
 4. ESTUDO COMPARATIVO DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS	 43
4.1. EXIGÊNCIAS DO ACTUAL RCCTE	43
4.1.1. O PASSADO, O PRESENTE E O FUTURO	43
4.1.2. REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE TÉRMICA PARA A ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U	44
4.2. DESCRIÇÃO DOS CASOS EM ESTUDO	45
4.2.1. O CENTRO HISTÓRICO DO PORTO	45
4.2.2. SOLUÇÃO CONSTRUTIVA BASE	45
4.3. APRESENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO	47
4.3.1. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR	47
4.3.1.1. Vantagens e desvantagens	47
4.3.1.2. Tipos de reabilitação pelo interior	49
4.3.1.3. Suportes de isolamento térmico	51
4.3.1.4. Cumprimento do RCCTE	55
4.3.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR - ETICS	57
4.3.2.1. Vantagens e desvantagens	57
4.3.2.2. Regras e cuidados a ter na aplicação do ETICS	59
4.3.2.3. Cumprimento do RCCTE	61
4.3.3. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR – FACHADA VENTILADA	62

4.3.3.1. Vantagens e desvantagens.....	62
4.3.3.2. Características e regras fundamentais de aplicação	66
4.3.3.3. Cumprimento do RCCTE	69
4.3.4. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR – COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO MANTENDO O REVESTIMENTO POR PLACAS	70
4.3.4.1. Particularidades.....	70
4.3.4.2. Cumprimento do RCCTE	71
4.4. CONCLUSÕES.....	71
4.4.1. DIFERENÇAS ENTRE SOLUÇÕES.....	71
4.4.2. DESEMPENHO TÉRMICO	73

5. ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES NUMA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR.....75

5.1. O FENÓMENO DAS CONDENSAÇÕES	75
5.2. DESCRIÇÃO DA SIMULAÇÃO EFECTUADA	77
5.2.1. PROGRAMA UTILIZADO	77
5.2.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ADOPTADA.....	78
5.2.3. DADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSA 13788	78
5.2.4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSA 13788.....	79
5.2.5. DADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSA 2000	80
5.2.6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSA 2000.....	81
5.3. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	82
5.4. CONCLUSÕES.....	84

6. CONCLUSÕES.....85

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6.2. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	86
6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	87

BIBLIOGRAFIA	89
---------------------------	-----------

A. DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO ETICS	93
A.1. GENERALIDADES	93
A.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS	93
 B. DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO FACHADA VENTILADA	 105
B.1. GENERALIDADES	105
B.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS	105
 C. RELATÓRIO DA ANÁLISE HIGROMÉTRICA DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR COM OS PROGRAMAS CONDENSE 13788 E CONDENSE 2000	 111
C.1. GENERALIDADES	111
C.2. RELATÓRIO DO CONDENSE 2000 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM GESSO CARTONADO	111
C.3. RELATÓRIO DO CONDENSE 13788 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM GESSO CARTONADO ...	119
C.4. RELATÓRIO DO CONDENSE 13788 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM ALVENARIA DE TIJOLO	123

ÍNDICE DE FIGURAS

2. A CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL	3
Fig.2.1 – Utilização dos recursos naturais [11]	5
Fig.2.2 – Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [11]	6
Fig.2.3 – Consumo de energia final	7
Fig.2.4 – Consumo de energia eléctrica	7
Fig.2.5 – Certificação energética [2]	8
Fig.2.6 – Requisitos chave ao abrigo da nova regulamentação [2]	8
Fig.2.7 – Certificado do desempenho energético e da qualidade do ar interior [2]	9
Fig.2.8 – Isolamento por material constituído por folha de alumínio e bolhas de ar ou algodão, muito utilizado no melhoramento de isolamento térmico de coberturas [11]	9
Fig.2.9 – Possíveis locais de aplicação de isolamento térmico [11]	10
Fig.2.10 – Coeficiente de condutibilidade térmica de diversos materiais para isolamento térmico [4]	10
Fig.2.11 – Custo do efeito isolante (Ce _i) de diversos materiais de isolamento [11]	11
Fig.2.12 – Perdas de energia por trocas de calor num edifício não isolado termicamente [39]	11
Fig.2.13 – Aspectos essenciais para um edifício sustentável com a fachada principal virada a sul [11]	12
Fig.2.14 – Evolução das fachadas tipo desde meados de 1940 até à actualidade [8]	13
3. FACHADAS - ESTADO DA ARTE	15
Fig.3.1 – Casa construída em taipa [50]	15
Fig.3.2 – Casa construída em adobe [18]	16
Fig.3.3 – Perfis “Tipo C” utilizados na estrutura de sistemas construtivos LGSF [14]	18
Fig.3.4 – Representação esquemática de uma possível solução construtiva para as paredes exteriores no sistema LGSF [14]	18
Fig.3.5 – Parede dupla em alvenaria de tijolo vazado [14]	21
Fig.3.6 – Parede dupla com panos iguais em alvenaria de tijolo vazado [14]	21
Fig.3.7 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em alvenaria de tijolo furado [14]	22
Fig.3.8 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em betão armado [14]	22
Fig.3.9 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço com face à vista e pano interior em alvenaria de blocos betão celular autoclavado [14]	23

Fig.3.10 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra e pano interior em alvenaria de tijolo vazado [14]	23
Fig.3.11 – Parede dupla com panos em alvenaria de pedra aparelhada [14]	23
Fig.3.12 – Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de blocos de betão leve e revestimento exterior descontínuo em material cerâmico fixado em estrutura metálica [14]	24
Fig.3.13 – 4 soluções construtivas de parede simples com isolamento contínuo pelo exterior [14]	25
Fig.3.14 – Parede com estrutura em perfis leves de aço [14]	26
Fig.3.15 – Exemplo de isolamento pelo exterior [8]	26
Fig.3.16 – Aplicação do sistema “Vêture” [7]	27
Fig.3.17 – Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [8]	27
Fig.3.18 – Comparação entre os gradientes de temperatura a que estão sujeitas três paredes com revestimento de cor clara [8]	28
Fig.3.19 – Composição esquemática de um ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido [8]	28
Fig.3.20 – Exemplos de paredes de Trombe e esquema do seu funcionamento consoante as estações do ano [41]	31
Fig.3.21 – Representação esquemática da parede de Trombe [14]	32
Fig.3.22 – Funcionamento da parede de Trombe durante o dia e durante a noite (Inverno) [14]	33
Fig.3.23 – Funcionamento da parede de Trombe durante as estações amenas (Outono/Primavera) e durante a estação de arrefecimento (Verão) [14]	33
Fig.3.24 – Representação esquemática de uma fachada ventilada [14]	34
Fig.3.25 – Detalhe de colocação: encaixes visíveis e invisíveis [14]	34
Fig.3.26 – Fissuras em fachadas de edifícios [44]	37
Fig.3.27 – Aspecto construtivo bastante frequente na construção portuguesa [44]	38
Fig.3.28 – Fissuração da fachada ao nível da padieira [44]	38
Fig.3.29 – Empolamento e destacamento do revestimento de uma fachada [44]	39
Fig.3.30 – Condições favoráveis à formação de condensações superficiais [44]	40
Fig.3.31 – Fachada sem isolamento térmico e parede com manchas de bolor [44]	40
Fig.3.32 – Manchas de humidade resultantes de pontes térmicas não tratadas [22]	41
Fig.3.33 – Água acumulada na base das caixas-de-ar proveniente da precipitação [44]	41
Fig.3.34 – Manchas de humidade na superfície interior junto à base da fachada de um edifício de habitação [44]	41
Fig.3.35 – Presença de microorganismos na superfície exterior de uma fachada em ETICS [44]	42

4. ESTUDO COMPARATIVO DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS	43
Fig.4.1 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios [30]	43
Fig.4.2 – Viela característica da zona ribeirinha do Porto	45
Fig.4.3 – Pormenor de uma alvenaria de granito com cerca de 50 cm de espessura	46
Fig.4.4 – Incumprimento do RCCTE da solução base em todas as zonas do País	47
Fig.4.5 – Situações onde é aconselhada a reabilitação pelo interior	48
Fig.4.6 – Edifícios com varandas e pedra trabalhada no exterior aconselham a reabilitação pelo interior	48
Fig.4.7 – Isolamento pelo interior com o isolamento colado à face interior da parede exterior [25]	49
Fig.4.8 – Isolamento pelo interior com o isolamento colado à face interior da parede exterior – modo de aplicação [27]	50
Fig.4.9 – Isolamento pelo interior em placas pré-fabricadas de gesso cartonado com EPS [26]	50
Fig.4.10 – Isolamento pelo interior em placas pré-fabricadas de gesso cartonado [39]	52
Fig.4.11 – Ficha técnica de placas de gesso cartonado standard [32]	52
Fig.4.12 – Preços/m ² de placas de gesso cartonado standard [33]	53
Fig.4.13 – Painéis de aglomerado de madeira [37]	53
Fig.4.14 – Processo de montagem do MDF em suporte metálico [36]	54
Fig.4.15 – Preços/m ² de painéis de MDF [38]	54
Fig.4.16 – Isolamento pelo interior com suporte do isolamento em alvenaria de tijolo [39]	54
Fig.4.17 – Coeficientes de transmissão térmica das soluções de reabilitação pelo interior	57
Fig.4.18 – Edifícios cujas fachadas poderiam ser reabilitadas com ETICS	58
Fig.4.19 – Degradação do ETICS na zona de choque [7]	58
Fig.4.20 – Ligação do sistema com elementos da fachada [7]	59
Fig.4.21 – Reforço das esquinas com elementos metálicos [31]	60
Fig.4.22 – Habitação isolada com ETICS sendo a parte da fachada acessível revestida em pedra	60
Fig.4.23 – Habitação isolada com ETICS apenas a um nível superior ao térreo	61
Fig.4.24 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com ETICS	62
Fig.4.25 – Esquema da constituição de uma fachada ventilada [46]	63
Fig.4.26 – Edifícios cuja técnica de reabilitação poderia passar pela fachada ventilada	63
Fig.4.27 – Movimentação do ar numa fachada ventilada [40]	64
Fig.4.28 – Fachada ventilada com instalações sanitárias no espaço de ar [42]	64

Fig.4.29 – Vantagens da fachada ventilada: protecção térmica, acústica, acabamento tratado, impermeabilidade, fácil substituição, segurança contra quedas [42].....	65
Fig.4.30 – Fixação para revestimento de espessura fina [42], [10]	66
Fig.4.31 – Fixação para revestimento de grande espessura [42], [10].....	67
Fig.4.32 – Fixação para revestimento sobreposto [42], [10]	67
Fig.4.33 – Fixação oculta para revestimento de espessura fina [10].....	68
Fig.4.34 – Sequência de montagem da fachada ventilada [45].....	68
Fig.4.35 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com fachada ventilada	69
Fig.4.36 – Edifícios com fachada revestida a placas em plástico ondulado	70
Fig.4.37 – Revestimento em placas de plástico ondulado aplicado apenas em andares elevados.....	71
Fig.4.38 – Comparação do desempenho térmico (U) das diferentes soluções com 3 cm de isolamento	73

5. ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES NUMA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR

Fig.5.1 – Diagrama psiconométrico [24]	76
Fig.5.2 – Imagem de apresentação do programa CONDENA 13788	77
Fig.5.3 – Imagem de apresentação do programa CONDENA 2000	78
Fig.5.4 – Alvenaria de pedra com isolamento pelo interior	78
Fig.5.5 – Dados relativos ao elemento construtivo	79
Fig.5.6 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores.....	79
Fig.5.7 – Resultados do programa Condensa 13788 – Condensação em Dezembro e Janeiro	79
Fig.5.8 – Resultados do programa Condensa 13788 – Evaporação total em Fevereiro e Março.....	80
Fig.5.9 – Resultados do programa Condensa 13788 – Ocorrência de condensações	80
Fig.5.10 – Dados relativos aos intervalos de tempo da análise.....	81
Fig.5.11 – Dados relativos ao elemento construtivo	81
Fig.5.12 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores.....	81
Fig.5.13 – Resultados do programa Condensa 2000 – Condensação de Dezembro a Fevereiro	82
Fig.5.14 – Resultados do programa Condensa 2000 – Ocorrência de condensações	82
Fig.5.15 – Solução alternativa.....	83
Fig.5.16 – Resultados do programa Condensa 13788 – Ausência de condensações nos meses mais frios	83

A. DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO ETICS 93

Fig.A.1 – Aplicação do ETICS – Início dos trabalhos [7]	93
Fig.A.2 – Aplicação do ETICS – Colocação das placas de isolamento [7].....	94
Fig.A.3 – Aplicação do ETICS – Ligação com elementos da fachada [7].....	94
Fig.A.4 – Aplicação do ETICS – Ligação com elementos da fachada [7].....	94
Fig.A.5 – Aplicação do ETICS – Juntas de dilatação [7]	95
Fig.A.6 – Aplicação do ETICS – Reforço da armadura no contorno dos vãos [7].....	95
Fig.A.7 – Aplicação do ETICS – Emendas da armadura [7].....	96
Fig.A.8 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7].....	96
Fig.A.9 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7].....	97
Fig.A.10 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7].....	97
Fig.A.11 – Aplicação do ETICS – Limite inferior do sistema [7]	98
Fig.A.12 – Aplicação do ETICS – Limite lateral [7]	98
Fig.A.13 – Aplicação do ETICS – Limite lateral [7]	99
Fig.A.14 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]	99
Fig.A.15 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]	100
Fig.A.16 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]	100
Fig.A.17 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]	101
Fig.A.18 – Aplicação do ETICS – Abertura de ventilação [7]	101
Fig.A.19 – Aplicação do ETICS – Intervenção mantendo o peitoril original [7]	102
Fig.A.20 – Aplicação do ETICS – Intervenção aplicando um novo o peitoril [7].....	102
Fig.A.21 – Aplicação do ETICS – Fixação dos peitoris [7]	103
Fig.A.22 – Aplicação do ETICS – Fixação dos dispositivos de oclusão dos vãos [7]	103

B. DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO FACHADA VENTILADA..... 105

Fig.B.1 – Aplicação da fachada ventilada – Detalhe vertical da solução [47]	105
Fig.B.2 – Aplicação da fachada ventilada – Detalhe horizontal da solução [47]	106
Fig.B.3 – Aplicação da fachada ventilada – Remate de fundo [47]	106
Fig.B.4 – Aplicação da fachada ventilada – Remate de topo [47]	106
Fig.B.5 – Aplicação da fachada ventilada – Secção horizontal lateral [47]	107
Fig.B.6 – Aplicação da fachada ventilada – Secção horizontal lateral [47]	107

Fig.B.7 – Aplicação da fachada ventilada – Janela – secção vertical superior [47]	107
Fig.B.8 – Aplicação da fachada ventilada – Janela – secção vertical inferior [47]	108
Fig.B.9 – Aplicação da fachada ventilada – Canto com chanfre a 45° [47]	108
Fig.B.7 – Aplicação da fachada ventilada – Canto com perfil de alumínio – várias soluções [47]	108
Fig.B.8 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema oculto [48]	109
Fig.B.9 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema sobreposto [48]	109
Fig.B.10 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema à vista [48]	109

C. RELATÓRIO DA ANÁLISE HIGROMÉTRICA DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR COM OS PROGRAMAS CONDENSA 13788 E CONDENSA 2000

111

Fig.C.1 – Dados relativos aos intervalos de tempo da análise	111
Fig.C.2 – Dados relativos ao elemento construtivo	112
Fig.C.3 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores	112
Fig.C.4 – Resultados do programa Condensa 2000 – Ocorrência de condensações	112
Fig.C.5 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Janeiro	113
Fig.C.6 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Fevereiro	113
Fig.C.7 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Março	114
Fig.C.8 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Abril	114
Fig.C.9 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Maio	115
Fig.C.10 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Junho	115
Fig.C.11 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Julho	116
Fig.C.12 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Agosto	116
Fig.C.13 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Setembro	117
Fig.C.14 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Outubro	117
Fig.C.15 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Novembro	118
Fig.C.16 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Dezembro	118

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

3. FACHADAS - ESTADO DA ARTE	15
Quadro 3.1 – Fases de aplicação do sistema ETICS	29
Quadro 3.2 – Vantagens e desvantagens da Parede de Trombe [14]	32
Quadro 3.3 – Vantagens e desvantagens da fachada ventilada [14]	35
4. ESTUDO COMPARATIVO DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS	43
Quadro 4.1 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos [3]	44
Quadro 4.2 – Coeficientes de transmissão térmica de referência [3]	45
Quadro 4.3 – Coeficiente de transmissão térmica da solução base	46
Quadro 4.4 – Espessuras e resistências térmicas da alvenaria de tijolo [4]	55
Quadro 4.5 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em gesso cartonado	55
Quadro 4.6 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em painéis de madeira	56
Quadro 4.7 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em alvenaria de tijolo	56
Quadro 4.8 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da solução em ETICS	61
Quadro 4.9 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da solução com fachada ventilada	69
Quadro 4.10 – Espessuras de isolamento necessárias para cumprimento dos valores de referência do RCCTE	74
5. ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES NUMA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR	75
Quadro 5.1 – Descrição do elemento em estudo	78

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

R – Resistência térmica [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$]

U - Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]

λ – Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]

μ - Factor de resistência à difusão do vapor de água

BTC – Bloco de terra comprimido

EPBD – Energy Performance Buildings Directive

EPS – Poliestireno expandido moldado

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

GEE – Gases de efeito estufa

ICB – Aglomerado de cortiça expandida

LGSF – Light Gauge Steel Framing

MW – Lã mineral (de rocha ou de vidro)

OSB – Oriented Stranded Board

PUR – Espuma rígida de poliuretano

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios

XPS - Poliestireno expandido extrudido

1

INTRODUÇÃO

1.1 OBJECTIVOS

A construção em Portugal é vista como um sector conservador, com dificuldades em acompanhar o rumo evolutivo dos mercados envolventes, sendo definido principalmente como um sector relativamente atrasado, com pouca organização e fraca qualidade.

A falta de coordenação entre os diversos projectos, a ausência de desenhos pormenorizados e a inexistência de materiais e soluções construtivas normalizadas verificadas na concepção das obras, são alguns dos problemas que levam a que durante a vida útil do edifício este apresente patologias e deficiências não condizentes com as actuais exigências.

Por conseguinte observamos diariamente edifícios com patologias diversas como fissurações, empolamentos, eflorescências ou simplesmente degradados por falta de manutenção. Existem também edifícios que por terem sido projectados para regulamentos ultrapassados, com as novas actualizações dos mesmos, já não cumprem os requisitos de segurança, conforto e qualidade necessários.

É neste campo que este trabalho se insere, focado na térmica de edifícios, pretendendo apresentar diversas soluções de reabilitação de fachadas, comparando-as e aprofundar assim o conhecimento nesta área. Sendo cada caso específico e merecedor de estudo isolado, este trabalho dará apenas noções do que é possível fazer mediante uma determinada solução, não sendo necessariamente as soluções apresentadas as únicas de possível aplicação.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho pode ser dividido em duas partes:

- Na primeira é feita uma descrição da construção em Portugal, definindo importantes conceitos como a reabilitação e a sustentabilidade, com referências às principais técnicas e soluções construtivas existentes;
- Na segunda faz-se uma análise das principais técnicas de reabilitação de fachadas, comparando-as e indicando a que situações são direccionadas e faz-se uma breve referência à importância da higrtermia na envolvente dos edifícios.

O trabalho desenvolve-se ao longo de seis Capítulos.

No Capítulo 2 é retratada a construção em Portugal, fazendo menções à importância da reabilitação como a grande aposta do sector da construção e apontando algumas das barreiras à expansão nesta

área. Fala-se sobre sustentabilidade e sobre o consumo de energia dos edifícios e faz-se breve referência à evolução da concepção das fachadas em Portugal.

O Capítulo 3 é dedicado à descrição de sistemas e soluções construtivas existentes com particular incidência aos sistemas de isolamento pelo exterior exemplificando algumas das patologias existentes em diferentes fachadas de edifícios.

No Capítulo 4 são apresentadas as diferentes soluções de reabilitação de fachadas, comparando-as à luz do novo regulamento de térmica, o RCCTE, salientando as vantagens e desvantagens de cada solução e apontando alguns casos passíveis de serem executados.

No Capítulo 5 aborda-se o tema da higrotermia, salientando a sua influência no domínio da térmica, exemplificando uma análise a uma solução de reabilitação e descrevem-se as principais medidas com o objectivo de minimizar as patologias ligadas a deficiências higrotérmicas.

Finalmente, no Capítulo 6, referem-se as conclusões deste trabalho apontando perspectivas futuras.

2

A CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

2.1 A IMPORTÂNCIA DA REABILITAÇÃO

A existência de estruturas de alvenaria antigas está difundida por toda a Europa, em centros históricos e urbanos, em diferentes tipos de estruturas (como torres, edifícios, igrejas, campanários, arcos, muros, fortes, muralhas, etc.) em elementos estruturais como arcos, abóbadas, colunas, paredes, etc. O valor patrimonial, cultural e arquitectónico que representam fez com que a conservação e reabilitação destes elementos estruturais seja hoje em dia de grande interesse para quem os tutela.

Recentemente tem-se assistido à preservação das paredes exteriores dos edifícios antigos, em profundas intervenções que podem considerar-se no limiar mínimo da conservação do património arquitectónico não-monumental. Para o efeito contribuem as naturais dificuldades de reparação dos edifícios antigos, em parte inerentes ao domínio ainda limitado que se possui das técnicas e dos materiais envolvidos. Em zonas urbanas estas intervenções são frequentemente motivadas por rentáveis programas de utilização subjacentes à pressão das especulações imobiliárias, mais do que pelo estado de degradação exibido [1].

O objectivo fundamental de qualquer acção de reabilitação desenvolvida sobre um edifício consiste em resolver os danos físicos e a patologia construtiva e ambiental, acumuladas ao longo dos anos, assim como introduzir uma beneficiação geral – modernizando as instalações e equipamentos existentes -, tornando esse edifício apto para o seu completo e actualizado reuso [19].

A reabilitação de edifícios tem vindo a assumir um papel cada vez mais importante no panorama da actividade de construção em Portugal, substituindo o investimento nesta área boa parte daquele que nos últimos dez anos foi feito na área da construção nova.

De acordo com estimativas publicadas, a actividade de reabilitação de edifícios representa na Europa, em média, cerca de 45% do volume total de investimento na Construção, enquanto as mais recentes estimativas apontam para um valor rondando os 23% para o caso português (Euroconstruct – Portugal). Trata-se de um crescimento relevante, já que estimativas anteriores apontavam para valores na casa dos 6 a 10%, no entanto estes são valores ainda reduzidos. A ausência de investimento na reabilitação e conservação de edifícios tem como consequência a degradação dos centros urbanos e da qualidade de vida dos cidadãos.

Revela-se por isso essencial continuar a investir energias neste processo para que possamos acompanhar a tendência europeia nas próximas décadas. É bem evidente a necessidade de reabilitação que apresenta boa parte do património construído em Portugal. De acordo com o Censo 2001, cerca de

800.000 fogos necessitavam de obras de recuperação, mais ou menos importantes, sendo que cerca de 325.000 se encontravam degradados ou muito degradados.

A longevidade das construções está associada claramente a preocupações de manutenção e reabilitação, sendo a sua fachada um dos elementos que maior atenção deverá merecer, já que, sendo a pele protectora dos espaços utilizados, encontra-se sujeita a maior degradação por acção de agentes externos, e por outro lado, é a sua cara visível.

Aliás, a necessidade de intervenção periódica em acções de conservação e reabilitação foi já referida no RGEU de 1951, que postula no seu artigo 9º a obrigação de intervenções em cada 8 anos [16].

Os desafios colocados pela actividade de reabilitação, nomeadamente no que às fachadas diz respeito, são bastante exigentes, necessitando da proposta de processos e soluções que permitam trabalhar com suportes difíceis, que evitem o mais possível a necessidade de demolições, que facilitem a sua aplicação e que permitam a execução dos trabalhos no mais curto prazo de tempo possível.

A evolução das condições de uso ou dos padrões de qualidade pode constituir razão para reabilitação. O insuficiente isolamento térmico das paredes influencia quer as condições de conforto térmico e salubridade, quer as condições de exploração dos edifícios, pelas acrescidas necessidades de consumo energético em aquecimento e arrefecimento para além de limites aceitáveis [17].

2.2 DIFICULDADES NO INVESTIMENTO EM REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

No nosso país têm-se sentido algumas dificuldades quanto à consolidação das iniciativas de reabilitação urbana e à definição de uma política de salvaguarda e valorização do património arquitectónico. As razões das dificuldades da consolidação, entre nós, da prática da reabilitação e conservação do património urbano são, obviamente, múltiplas e podem prender-se com razões básicas como as seguintes [19]:

- Questões culturais de base, ou seja, incompreensão do que a salvaguarda do património construído representa enquanto factor de identidade e de afirmação da nossa especificidade cultural;
- Insensibilidade e o desconhecimento das vantagens sócio-económicas que uma adequada política de salvaguarda e valorização do património urbano pode fornecer, situação que se mistura com as opções de um tardio apetite nacional por uma modernidade, longamente esperada, mas, tantas vezes, erradamente entendida;
- Ausência de uma política de conservação do património arquitectónico urbano que efectivamente garanta a sua salvaguarda e valorização;
- O ainda incompleto enquadramento legal e financeiro deste sector;
- Inadequação dos incentivos fiscais, financeiros e a rarefacção de linhas de crédito necessárias (para o poder local, ou para o particular);
- A insuficiente preparação técnica e/ou disciplinar, de grande número de agentes envolvidos;
- A desadequação da indústria de construção, já que esta continua a orientar-se, de forma quase exclusiva, para responder às necessidades quantitativas da produção de obra nova;
- Rarefacção de mão-de-obra tecnicamente adequada, por insuficiente formação de operários especializados em conservação e reabilitação de edifícios, ao mesmo tempo que se verifica um abandono do saber, das técnicas e da utilização de materiais de construção tradicionais;

- A insuficiente investigação de base que apoie eficientemente a prática, não só garantindo o registo, levantamento e o inventário do património urbano e arquitectónico, a recolha de saberes, das técnicas e dos materiais tradicionais, mas também esclarecendo as formas adequadas de proceder ao seu restauro, conservação e reabilitação.

As intervenções edifício a edifício, ou alojamento a alojamento, que se desenvolvam de forma desarticulada e com pouca consideração pelo que se sucede lado a lado, ou abaixo e acima, têm-se revelado um procedimento muito pouco eficiente e anti-económico. Isso é visível no caso das intervenções nas diversas redes (gás, electricidade, esgotos, água). Ou seja, a reabilitação não deve ser pensada para um edifício só, mas também para a habitação envolvente de maneira a facilitar o processo de reabilitação em si mas também de modo a garantir que este fica enquadrado esteticamente e funcionalmente.

2.3 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

2.3.1. CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico também tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas a nível global. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar o seu esgotamento (Fig.2.1). Assim, entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo [11].

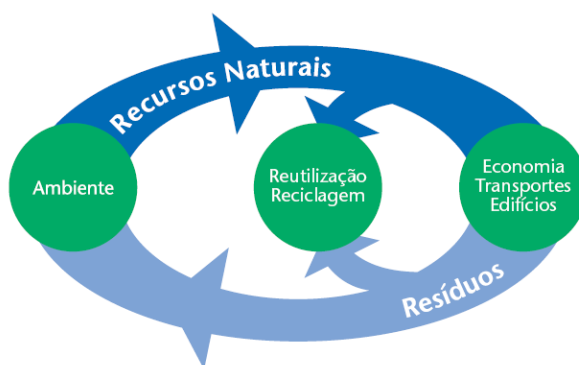


Fig.2.1 – Utilização dos recursos naturais [11]

- A exploração dos recursos renováveis não deve exceder ritmos de regeneração;
- As emissões de resíduos poluentes devem ser reduzidas ao mínimo e não devem exceder a capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas;
- Os recursos não renováveis devem ser explorados de um modo quase sustentável limitando o seu ritmo de esgotamento ao ritmo de criação de substitutos renováveis. Sempre que possível deverá ser feita a reutilização e a reciclagem dos resíduos resultantes da utilização de recursos não renováveis. Os resíduos de algumas actividades económicas podem em muitos casos servir como matérias-primas de outras actividades;
- Os processos económicos, sociais e ambientais estão fortemente interligados;
- O desenvolvimento sustentável vai para além da conservação ambiental;

- As actividades desenvolvidas no presente e no médio prazo devem garantir a satisfação global das necessidades das gerações futuras;
- O desenvolvimento sustentável apela a mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objectivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social.

A actividade económica, o meio ambiente e o bem-estar global da sociedade formam o tripé básico no qual se apoia a ideia de desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se estes três eixos evoluírem de forma harmoniosa.

Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser representado pela Fig.2.2 em que os três círculos representam as dimensões ambiental, económica e social associadas [11].

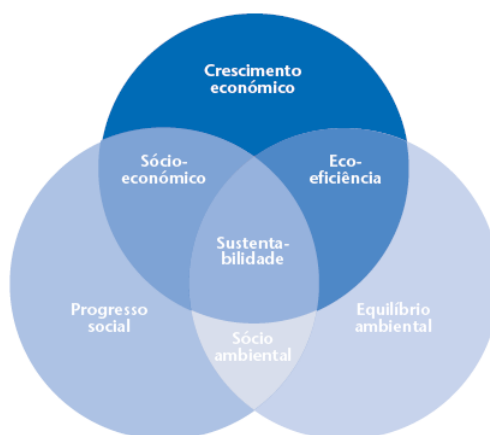


Fig.2.2 – Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [11]

2.3.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

O objectivo da indústria da construção é a realização de um produto que satisfaça a funcionalidade requerida pelo Dono de Obra, com as necessárias condições de segurança para o efeito das acções naturais como humanas e com características de durabilidade que permitam a redução da deterioração ao longo do seu ciclo de vida. O produto deve ainda ser compatível com os interesses económicos do Dono de Obra, ser esteticamente agradável e compatível com a sua envolvente e traduzir o menor impacte ambiental possível. Só com o equilíbrio entre estes seis vectores, que deverá ser alcançado com o bom senso e os conhecimentos tecnológicos dos diversos intervenientes da construção, se conseguirão realizar construções que sejam efectivamente compatíveis com as necessidades humanas do presente e do futuro.

Uma construção só pode ser considerada sustentável quando as diversas dimensões do desenvolvimento sustentável – ambiental, económica e social– são ponderadas durante a fase de projecto.

Nas diferentes metodologias de avaliação da sustentabilidade, normalmente é possível identificar os seguintes objectivos: optimização do potencial do local, preservação da identidade regional e cultural, minimização do consumo de energia, protecção e conservação dos recursos de água, utilização de materiais e produtos de baixo impacte ambiental, adequada qualidade do ambiente interior e optimização das fases de operação e manutenção [14].

2.3.3. CONSUMO DE ENERGIA NOS EDIFÍCIOS

No âmbito do Protocolo de Quioto foi admitido o compromisso por vários países, incluindo Portugal, de diminuir a emissão dos gases de efeito estufa (GEE). No contexto nacional energético e ambiental verificou-se que os edifícios se revelavam grandes consumidores energéticos sendo dos maiores contribuidores do gasto quer de energia final quer de energia eléctrica como se pode verificar nas Fig.2.3 e 2.4 [2]:

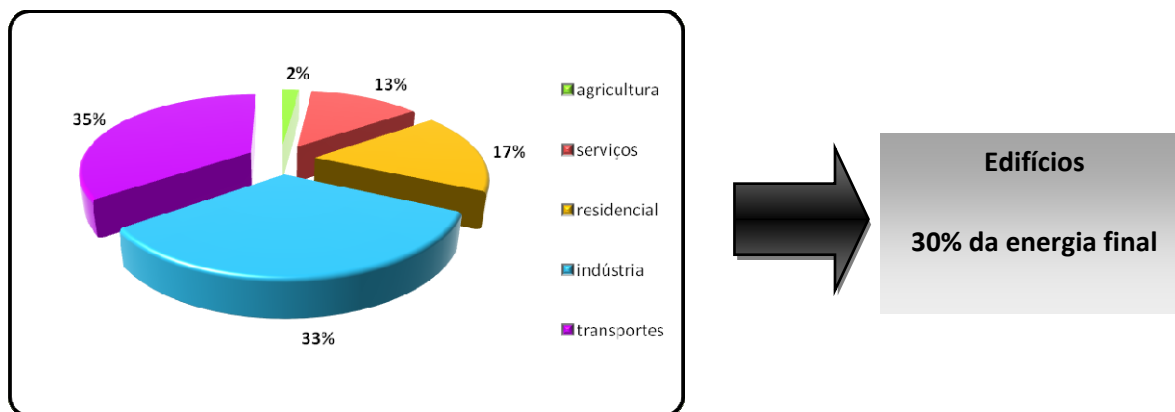


Fig.2.3 – Consumo de energia final

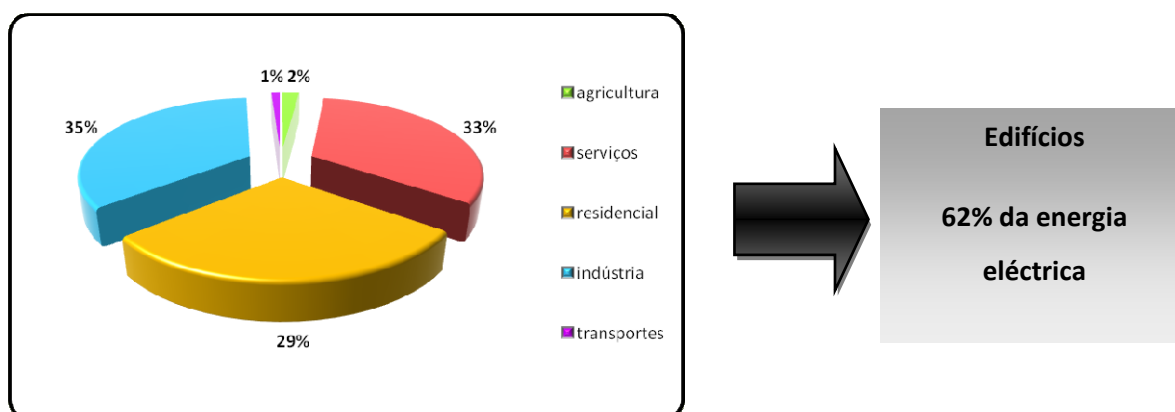


Fig.2.4 – Consumo de energia eléctrica

Dados recolhidos apontavam para uma duplicação do consumo eléctrico nos edifícios a cada 20 anos. Diminuir o consumo nos edifícios para valores aceitáveis era por isso urgente e nesse sentido foi emitida a Directiva Europeia 2002/91/CE (EPBD) que consistia no seguinte:

- Imposição da emissão de certificados energéticos;
- Obrigatoriedade nos licenciamentos e transacções;
- Algumas reabilitações abrangidas;
- Certificados válidos por 10 anos;
- Certificação assegurada por técnicos especializados.

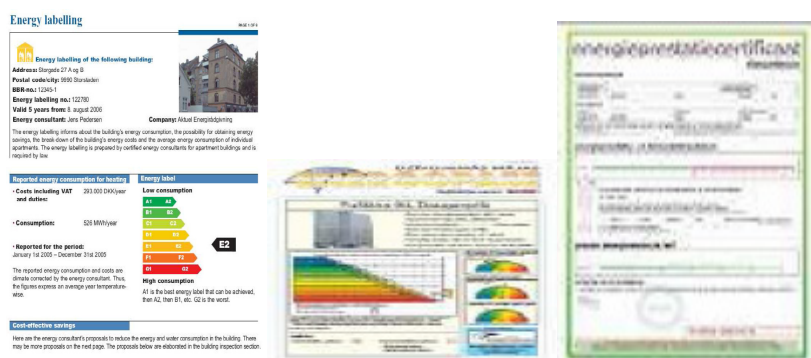


Fig.2.5 – Certificação energética [2]

A transposição dessa Directiva Europeia para a Legislação Portuguesa efectuou-se através da elaboração do RCCTE, do RSECE e do SCE, respectivamente o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006), o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (DL 79/2006) e do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios (DL 78/2006). No essencial, os edifícios teriam que se tornar sustentáveis e para atingir esse fim, eram exigidos 8 requisitos chave:

- Painéis solares;
- Correção das pontes térmicas;
- Aquecimento de água contemplado nas necessidades do edifício;
- Qualidade do ar interior;
- Existência de isolamento térmico;
- Vidros duplos;
- Palas nas janelas;
- Ar condicionado e caldeiras.

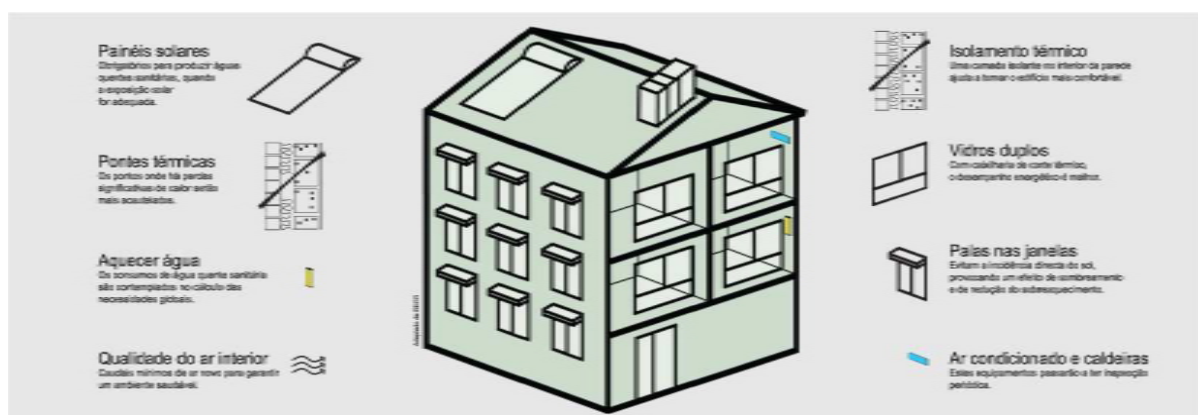


Fig.2.6 – Requisitos chave ao abrigo da nova regulamentação [2]

A legislação será aplicada em todas as fases da vida do edifício, desde a fase de licenciamento onde será emitida uma Declaração de Conformidade Regulamentar, após a construção e inspecção do edifício sendo emitido o 1º Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE) e durante a utilização do mesmo através de auditorias e verificações periódicas para a renovação do certificado.

Este é sem dúvida um passo importante rumo à tão desejada sustentabilidade, pois uma vez implementados os certificados energéticos, será permitido obter de forma simples e directa informação como:

- Etiqueta de desempenho energético do edifício dividida em 9 classes (de A+ a G);
- Emissões de CO₂ do edifício;
- A desagregação das necessidades de energia do edifício (aquecimento, arrefecimento e águas quentes);
- Propostas de medidas para melhorias e consequente nova classe energética se essas medidas forem implementadas.

Certificação Energética e Ar Interior EDIFÍCIOS

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. MULTIFAMILIAR

Mostrar / Ocultar: ☐ Freqüente ☐ Raramente

Localidade: Região:

Data de emissão do certificado: Validade do certificado:

Nome do ponto qual: Número do ponto qual:

Insatisfeitos em: ☐ Conservatória do Registo Predial de:

Solo: ☐ Ar: ☐ Material: ☐ Fração autónoma

1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

INDICADORES DE DESEMPENHO

Necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes: kWh/m² ano

Necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes: kWh/m² ano

Valor limite regulamentar para as necessidades anuais globais de energia útil para climatização e águas quentes: kWh/m² ano

Emissões anuais de gases de efeito estufa (CO₂) equivalentes por ano: toneladas de CO₂ equivalentes por ano

2. DESAGREGAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL

Necessidades nominais de energia útil	Valor estimado para as condições de referência	Valor limite regulamentar para as necessidades anuais
Aquecimento	<input type="text"/> kWh/m² ano	<input type="text"/> kWh/m² ano
Arrefecimento	<input type="text"/> kWh/m² ano	<input type="text"/> kWh/m² ano
Preparação de águas quentes sanitárias	<input type="text"/> kWh/m² ano	<input type="text"/> kWh/m² ano

NOTAS EXPLICATIVAS

As necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes são calculadas com base nos dados de desempenho energético do edifício e nos dados de desempenho energético dos equipamentos e sistemas de climatização e águas quentes.

As necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes são calculadas com base nos dados de desempenho energético do edifício e nos dados de desempenho energético dos equipamentos e sistemas de climatização e águas quentes.

As necessidades anuais globais estimadas de energia útil para climatização e águas quentes são calculadas com base nos dados de desempenho energético do edifício e nos dados de desempenho energético dos equipamentos e sistemas de climatização e águas quentes.

Fig.2.7 – Certificado do desempenho energético e da qualidade do ar interior [2]

Esta informação é essencial porque permite informar o consumidor dos edifícios que consomem menos energia, logo, edifícios mais “verdes”, podendo assim o consumidor filtrar as suas opções de maneira a escolher o mais adequado ambientalmente. Esta filtragem dos edifícios consoante a sua eficiência energética levará o mercado a apresentar edifícios com cada vez melhor desempenho energético, levando assim a uma sociedade mais sustentável [2].

2.3.4. A IMPORTÂNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO

O adequado isolamento térmico dos edifícios é um dos principais meios para minimizar as perdas de energia e aumentar o conforto no interior dos espaços climatizados.

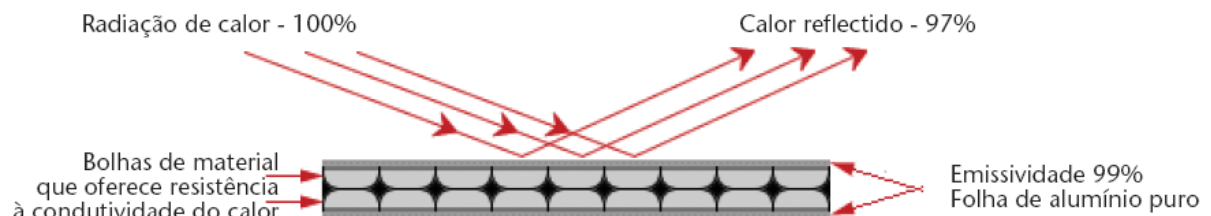


Fig.2.8 – Isolamento por material constituído por folha de alumínio e bolhas de ar ou algodão, muito utilizado no melhoramento de isolamento térmico de coberturas [11]

A utilização de materiais isolantes na construção civil é essencial para corresponder aos altos padrões de qualidade exigidos pelos utilizadores e às normas actualmente em vigor. Para além da economia de energia, o conforto térmico e acústico, juntamente com a qualidade do ar, são factores importantes para assegurar um ambiente com produtividade.

A escolha das características (reflectividade e emissividade) e do tipo de material de revestimento dos telhados, têm uma importância fulcral na redução dos consumos de um determinado edifício, no que diz respeito à climatização. Um telhado com cor clara (branca se possível) pode diminuir a absorção da radiação solar, reduzindo assim a temperatura e a transmissão de calor para o interior de, por exemplo, uma nave industrial [11].

2.3.5. PRINCIPAIS GRUPOS DE MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO

Os principais factores de avaliação dos diversos materiais usados para isolamento térmico são: propriedades físicas, propriedades químicas, o preço e a facilidade de aplicação. Alguns dos materiais mais utilizados são os seguintes:

- EPS – Poliestireno Expandido;
- XPS – Poliestireno Extrudido;
- MW – Lã mineral (Rocha, Vidro);
- PUR – Poliuretano;
- ICB – Aglomerado Negro de Cortiça.

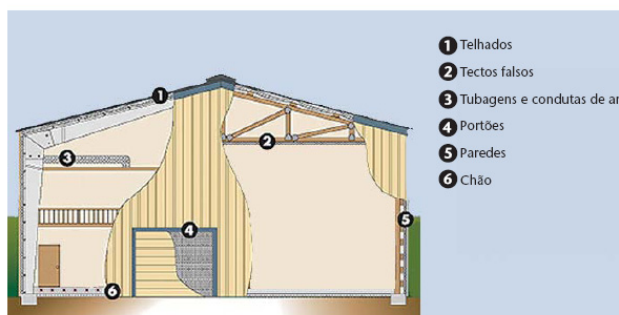


Fig.2.9 – Possíveis locais de aplicação de isolamento térmico [11]

O gráfico seguinte apresenta uma das principais propriedades físicas dos materiais para isolamento térmico: o coeficiente de condutibilidade térmica [11].

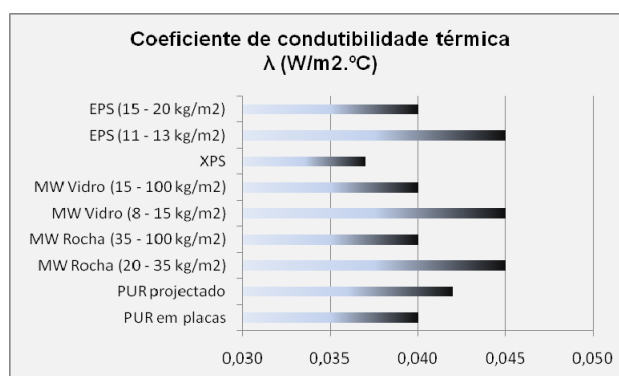


Fig.2.10 – Coeficiente de condutibilidade térmica de diversos materiais para isolamento térmico [4]

A comparação do custo dos diversos materiais para isolamento térmico, apenas se torna pertinente se os parâmetros de utilização forem semelhantes. A forma directa de comparar o custo do desempenho térmico dos diferentes tipos de isolamento é feita através do “Custo do efeito isolante” (Ce_i):

$Ce_i = \text{Preço do isolante [€ / m}^3 \text{]} / R$ ($R = \text{Resistência térmica} = \text{Espessura} / (\lambda * \text{Secção})$)

Material de isolamento	Dens. [kg/m ³]	C.C.T. (λ) [W/m°C]	Preço [€/m ³]	Ce _i
Lã de rocha (placa)	30	0,040	32	1,28
	70	0,035	68	2,38
Lã de vidro (manta)	15	0,045	21	0,945
EPS	15	0,040	36	1,44
	25	0,035	58	2,03
XPS (CO ₂)	30	0,035	80	2,8
Poliuretano	35	0,025	150	3,75

Fig.2.11 – Custo do efeito isolante (Ce_i) de diversos materiais de isolamento [11]

2.3.6. EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

Como já foi referido, os edifícios são actualmente grandes consumidores de energia, sendo parte dessa energia consumida fornecida para climatização do ambiente interior. No sentido de caminhar para uma diminuição desse consumo energético e de aumento da sustentabilidade dos edifícios, é essencial perceber e quantificar as perdas que se verificam através dos diferentes elementos construtivos de maneira a poder actuar sobre aqueles por onde essas perdas são mais elevadas.

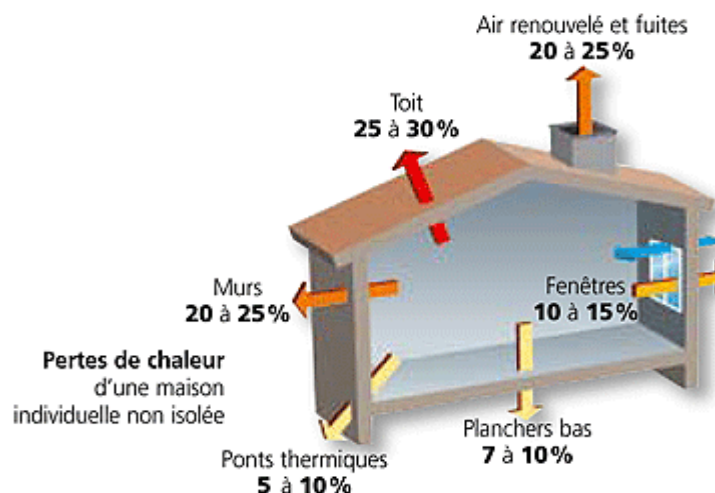


Fig.2.12 – Perdas de energia por trocas de calor num edifício não isolado termicamente [39]

Na concepção de um edifício, a adopção de algumas estratégias poderá influenciar significativamente o seu desempenho em termos do conforto térmico no seu interior e, consequentemente, dos seus ocupantes. Como o consumo energético depende das condições de conforto que os ocupantes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima local será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendido. Contudo, se na concepção de um edifício são utilizadas as estratégias bioclimáticas correctas, o edifício fica mais próximo de atingir as condições de conforto térmico e de diminuir os respectivos consumos energéticos para atingir esses fins.

As estratégias a adoptar para a criação de edifícios sustentáveis, são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral, destinadas a influenciar a forma do edifício, bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adoptar num determinado edifício ou projecto, deverão ser seleccionadas tendo em atenção a especificidade climática do local, a função do edifício e, consequentemente, o modo de ocupação e operação do mesmo, com o objectivo de promover um bom desempenho em termos de adaptação ao clima. Deve-se fazer o aproveitamento da massa térmica, através da utilização de sistemas solares passivos, tirando partido da capacidade do betão em termos de armazenagem de calor/energia [11].

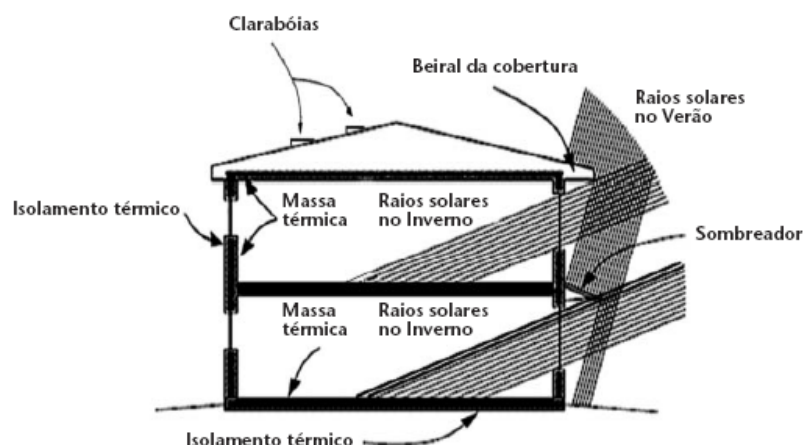


Fig.2.13 – Aspectos essenciais para um edifício sustentável com a fachada principal virada a sul [11]

2.4 EVOLUÇÃO DA CONCEPÇÃO DAS FACHADAS NA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

Até ao início do século XX as soluções construtivas predominantes eram baseadas em alvenaria de granito de elevada espessura, sendo o seu principal objectivo o de garantir estabilidade estrutural. No sentido de proporcionar um maior conforto térmico com paredes de menor espessura, nos anos seguintes optou-se pela construção baseada em tijolos cerâmicos, desempenhando a caixa-de-ar entre os dois panos um papel muito importante a nível térmico, passando a função estrutural das fachadas a ser desempenhada pelo betão armado usado na estrutura do edifício. Nas décadas de 60 e 70 os objectivos dominantes da construção portuguesa eram geralmente os seguintes:

- Reduzir os custos de obra e aumentar a produtividade;
- Melhorar as características térmicas e acústicas assim como a estanquidade à água;
- Diminuir o peso e a espessura das paredes aumentando a área útil de construção.

Nesse sentido procurou-se diminuir cada vez mais a espessura das paredes tentando ao mesmo tempo aumentar o desempenho destas face aos agentes atmosféricos.

Em Portugal a aplicação de isolantes térmicos em fachadas só começou a verificar-se nos anos 80, sendo este colocado na caixa-de-ar, colado à face exterior do pano interior ou ocupando a caixa-de-ar na totalidade. Embora esta solução tenha proporcionado melhorias significativas a nível térmico, gerou também uma nova vaga de patologias que até aí não se manifestavam nas antigas soluções construtivas.

Em 1991 entrou em vigor nova regulamentação de térmica (RCCTE) que aumentou significativamente as exigências de conforto nesta área. O regulamento veio criar novas preocupações na concepção em

termos de inércia térmica e na correcção das pontes térmicas. É neste período que começam a mudar-se as práticas construtivas aparecendo as soluções construtivas de apenas um pano com isolamento exterior.

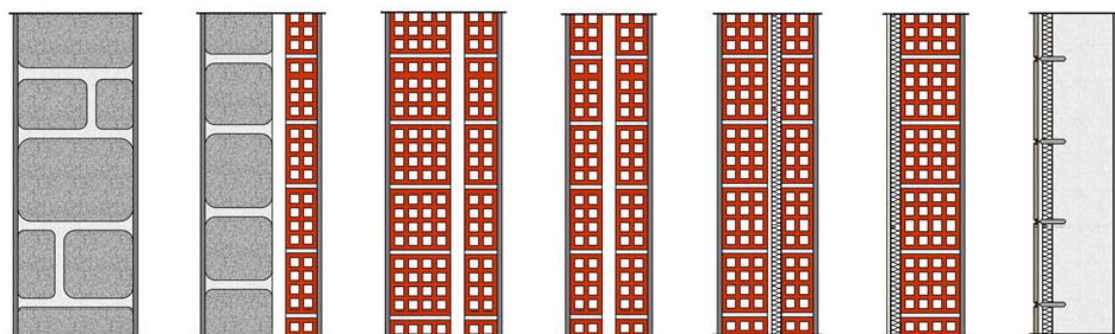


Fig.2.14 – Evolução das fachadas tipo desde meados de 1940 até à actualidade [8]

Entrou em vigor em 2006 uma nova versão do RCCTE que impõe novas exigências no sentido de melhorar o conforto térmico nos edifícios sendo para isso necessário isolar termicamente a sua envolvente para minimizar as trocas térmicas com o exterior, reduzir as necessidades de aquecimento e minorar o risco de condensações superficiais. É de esperar que no sentido de cumprir estas exigências, surjam nos próximos anos novas soluções construtivas e que se desenvolvam outras que neste momento começam a ser aplicadas como as fachadas ventiladas, o Vêture ou o ETICS [8].

3

FACHADAS - ESTADO DA ARTE

3.1. SISTEMAS CONSTRUTIVOS

3.1.1. GENERALIDADES

O sistema construtivo pode ser definido como a combinação de materiais utilizados na materialização dos elementos de construção de um edifício. A escolha do sistema construtivo a adoptar num edifício assume elevada importância pois este vai ter implicações ao nível estrutural, térmico e acústico, mas também económico e ambiental. Das aplicações existentes, destacam-se aqui 6 grupos de sistemas construtivos que pelas suas características merecem uma breve referência: sistemas construtivos em **terra**; os que porventura são os mais comuns nos dias que correm, em **alvenaria de tijolo** e em **betão armado**; os compostos por **betão leve de agregados de argila expandida**; em **estruturas metálicas leves**; em **betão celular autoclavado**.

O material mais utilizado desde os primórdios da Humanidade é sem dúvida a terra. As construções baseadas neste material têm sofrido uma evolução profunda e apesar de hoje não ser um sistema construtivo de eleição, existem técnicas modernas capazes de produzirem construções de elevada qualidade. O facto de este recurso ser inesgotável e existente em praticamente todo o lado, torna-o numa solução prática e económica. No entanto a utilização deste material exige a tomada de certas precauções, como sejam a elevada compressão, inclusão de armaduras de fibras ou mesmo a adição de cimento, cal ou betume. As principais técnicas construtivas em terra são: a **taipa**, o **adobe** e o **“BTC”**.

3.1.2. TAIPA

A taipa é uma técnica que utiliza terra húmida compactada para a construção de paredes espessas utilizando uma mistura de vários agregados. A terra é compactada entre dois painéis de cofragem, sendo esta de madeira ou mais recentemente de metal (cofragens metálicas deslizantes). As paredes construídas segundo esta técnica apresentam elevada resistência à compressão, bom isolamento sonoro e elevada inércia térmica (resultante da espessura, logo massa elevada) no entanto em paredes de espessura delgada não dispensa a colocação de revestimentos isolantes.



Fig.3.1 – Casa construída em taipa [50]

3.1.3. ADOBE

O adobe consiste numa mistura de terra e água moldados em blocos com as dimensões pretendidas, ficando esses blocos a secar ao ar livre. Com o fim de melhorar as suas características e estabilização da terra podem ser adicionados certos aditivos como a cal, cimento ou betume ou misturando fibras vegetais (palha). O modo de construção dos blocos é semelhante ao da alvenaria de tijolos. A resistência à compressão desta solução é pouco elevada no entanto em alguns países observam-se construções até 8 pisos. Devido à elevada densidade deste material a inércia térmica é elevada, sendo adequado a locais com elevadas amplitudes térmicas, no entanto, a condutibilidade dos blocos de terra é algo elevada pois devido à sua densidade, são pouco porosos logo aconselha-se a adição de isolantes térmicos.



Fig.3.2 – Casa construída em adobe [18]

3.1.4. BLOCO DE TERRA COMPRIMIDO - BTC

A evolução da utilização do adobe produziu o BTC – bloco de terra comprimido, sendo por isso as suas características técnico-funcionais semelhantes às do adobe. A principal diferença entre os dois é que o BTC sofre um processo de compressão através de prensa, conferindo-lhe maior densidade e por conseguinte maior resistência mecânica à compressão e à acção dos elementos erosivos da natureza. Estas características aliadas ao curto prazo de construção faz com que seja o método construtivo em terra mais utilizado em todo o mundo.

As principais desvantagens das técnicas que utilizam como material principal a terra são o facto de esta ser muito sensível à humidade e de incorporar elevada mão-de-obra na sua construção. Na realidade se não forem tomadas medidas preventivas no sentido de proteger a terra da humidade, esta degrada-se rapidamente diminuindo substancialmente a sua durabilidade. Por estes motivos, estas técnicas foram sendo substituídas por outras utilizando o betão armado, mais resistente, mais durável, com variedade de formas, prazos mais curtos e com melhor comportamento face à água.

3.1.5. TÉCNICAS TRADICIONAIS – BETÃO ARMADO E ALVENARIA DE TIJOLO

As técnicas construtivas mais comumente utilizadas, as ditas tradicionais, são as que utilizam o betão armado e a alvenaria de tijolo. Embora existam soluções que possam apresentar-se mais vantajosas sobre vários aspectos, devido a factores diversos, estas tardam em entrar no mercado impedindo assim a sua massificação. Estas duas técnicas construtivas apresentam como principais vantagens a elevada resistência à compressão, boa resistência às adversidades climáticas e quando

bem utilizadas juntamente com outros materiais, constituem boas soluções do ponto de vista do isolamento térmico e sonoro. No entanto a sua principal vantagem em relação a novas técnicas que se tentam implementar neste mercado é o facto de estes materiais já serem utilizados há vários anos com sucesso tendo sido massivamente adoptados por toda a indústria ligada à construção. Nos dias que correm, as características destes materiais já foram devidamente testadas e são claramente conhecidas, existem várias empresas especializadas nestes materiais no mercado, elevada oferta, grande procura e as técnicas de construção utilizando estes materiais estão claramente dominadas e não exigem mão-de-obra qualificada.

Nota-se no entanto uma preocupação crescente em encontrar alternativas a estes materiais, alternativas essas que se pretendem mais económicas, mais amigas do ambiente, que garantam, se possível, as mesmas ou melhores características mecânicas que as tradicionais e que possam ser executadas em prazos mais curtos que as técnicas tradicionais.

São diversas as soluções construtivas que se podem encontrar que recorrem às alvenarias de tijolo e ao betão armado. Estas técnicas estão profundamente estudadas existindo já diversos estudos que indicam as principais vantagens e desvantagens destas soluções pelo que a sua adopção por parte dos construtores é feita sem grandes reservas [14].

3.1.6. BETÃO LEVE DE AGREGADOS DE ARGILA EXPANDIDA

A argila expandida resulta de um processo de introdução da argila em fornos rotativos de temperaturas elevadas com a finalidade de se obter a sua expansão controlada. Deste processo resulta a formação de grânulos, contendo estes no seu interior micro poros fechados, que por sua vez contêm ar conferindo assim ao material leveza e também propriedades de isolamento térmico. Por essa razão, a argila expandida pode ser utilizada como isolamento térmico, no entanto quando comparada com outros isolamentos mais correntes, esta não se revela uma boa solução.

Uma solução construtiva corrente é a baseada no fabrico de betão leve de agregados de argila expandida. Este betão pode ser utilizado como alvenaria estrutural, podendo ser pré-fabricado, solução que reduz tempos de execução, custo de materiais e cofragens, de montagem simples, não necessitando por isso de mão-de-obra especializada, factores que quando considerados em conjunto conduzem em geral a uma redução de custos. Resulta assim numa parede leve, resistente e com bom desempenho térmico e acústico. Por utilizar materiais inertes, esta técnica construtiva apresenta ainda uma característica importante: a incombustibilidade.

Entre as vantagens já referidas pode ainda salientar-se o facto de que a sua aplicação permite a redução das secções transversais dos elementos estruturais e a redução do peso dos materiais a transportar em obra com o consequente aumento de produtividade.

3.1.7. LIGHT GAUGE STEEL FRAMING - LGSF

Um sistema construtivo que tem vindo a ganhar preferência dos construtores é o baseado em estruturas metálicas leves (light gauge steel framing – LGSF). As necessidades que o sector da construção tem sentido com o objectivo de tornar mais sustentável a sua actividade fizeram com que se criassem alternativas à tradicional construção em betão, cujos desperdícios e energia envolvida são maiores.

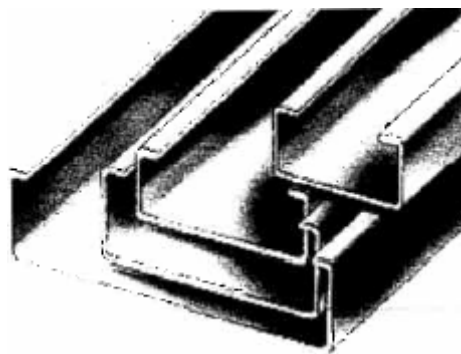


Fig.3.3 – Perfis “Tipo C” utilizados na estrutura de sistemas construtivos LGSF [14]

A principal vantagem deste sistema é a sua superior resistência, permitindo a criação de elementos estruturais de menor secção, logo envolvendo menores matérias-primas, podendo no final da sua utilização ser reutilizado ou reciclado. Usualmente os perfis das paredes exteriores baseados nesta técnica construtiva incluem, do exterior para o interior: revestimento exterior baseado em sistemas compósitos de isolamento térmico exterior, com revestimento aplicado sobre isolante, vulgo ETICS; a base do revestimento exterior pode ser constituída por painéis OSB (Oriented Stranded Board), ou por painéis de aglomerado de madeira e cimento; lã mineral ou lã de vidro como isolante sonoro colocada entre o revestimento exterior e interior; revestimento interior constituído por duas placas de gesso cartonado. Geralmente coloca-se entre a lã mineral e o paramento exterior uma barreira pára-vapor em papel Kraft impedindo assim a humedificação do isolamento térmico.

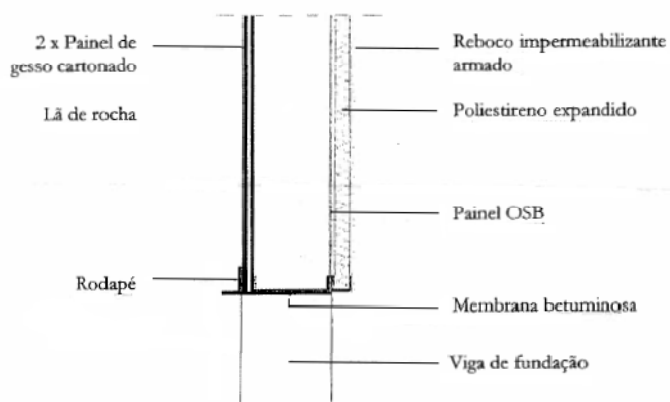


Fig.3.4 – Representação esquemática de uma possível solução construtiva para as paredes exteriores no sistema LGSF [14]

Para edifícios de 2 a 3 pisos esta técnica construtiva apresenta uma boa resistência com recurso a materiais de peso reduzido e cuja espessura é também reduzida. A nível sonoro, apesar dos componentes serem de reduzida massa, a utilização de materiais absorventes como a lã mineral torna esta uma boa solução. Ao nível do isolamento térmico esta solução caracteriza-se por um baixo coeficiente de transmissão térmica, no entanto a inércia térmica é reduzida devido à baixa massa dos elementos construtivos. No sentido de não comprometer o comportamento térmico da construção, esta técnica deve ser complementada com pavimentos de massa suficiente para armazenamento térmico.

3.1.8. BLOCO DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO

Outra técnica construtiva baseia-se no betão celular autoclavado. Este é um betão mais leve mas que apresenta boa resistência mecânica e é razoável como isolante térmico e acústico. No nosso país a construção usando este material limita-se praticamente a alvenarias não estruturais, isto apesar de ser um produto caracterizado por, por si só, conseguir praticamente satisfazer todas as exigências funcionais dos elementos construtivos.

O betão celular autoclavado é um material de construção, inteiramente natural e não poluente, composto por areia, cal, cimento e água. Na fase final de fabrico é adicionado pó de alumínio que actua como gerador de bolhas de hidrogénio no seio da mistura dos restantes constituintes, e que são responsáveis pela formação da estrutura celular deste material. A cura deste betão é feita em autoclave sob a acção de vapor de água em condições de pressão e temperatura controladas. O processo de construção é semelhante ao das alvenarias de tijolos, sendo o betão celular autoclavado disponibilizado em blocos que são colocados em fiadas, sendo estas separadas por argamassas específicas. Uma parede construída com este material apresentaria então o seguinte pormenor construtivo: pano interior em blocos de betão celular autoclavado, caixa-de-ar e tijolo maciço no exterior.

A resistência mecânica à compressão dos componentes de betão celular autoclavado é relativamente elevada permitindo com segurança a construção de paredes resistentes até 3 pisos de altura, sendo para isso essencial um correcto tratamento das juntas. Este é um aspecto fundamental não só para a resistência mecânica mas também para o comportamento térmico, acústico e impermeabilização à água. Por ser um produto com baixa massa devido ao grande número de vazios, a sua inércia térmica é baixa, assim como a sua condutibilidade térmica, permitindo assim obter soluções de isolamento térmico mais económicas. Esta solução é por isso aconselhada para zonas com grandes necessidades de aquecimento. A nível acústico, por ser um material com 60 a 70% de ar, é considerado um bom isolante sonoro. Há que ter particular cuidado ao acabamento das superfícies de maneira a que este material fique correctamente impermeabilizado, pois o contacto com a água afecta a estabilidade.

3.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.2.1. GENERALIDADES

Existem na actualidade diversas opções ao nível das soluções construtivas podendo estas dividir-se em 2 grupos: soluções construtivas leves e soluções construtivas pesadas.

Tal como o nome indica, as soluções construtivas pesadas incorporam materiais de peso elevado tais como tijolos, betão, blocos de betão, revestimentos cerâmicos, pedra, terra, etc..

As soluções construtivas leves utilizam materiais como a madeira e os perfis metálicos leves ao nível estrutural, e em acabamentos são utilizados, por exemplo, painéis de gesso cartonado, painéis de fibrocimento, painéis de aglomerado de madeira e cimento, OSB, etc..

Ambas têm vantagens e desvantagens sendo por isso impossível ditar uma como melhor que a outra. Essa dificuldade prende-se principalmente com as condições específicas de cada caso, sendo que para uns pode ser melhor adoptar soluções construtivas pesadas e noutros pode ser mais benéfico a adopção de soluções construtivas leves. No entanto é pertinente afirmar que na maior parte dos casos, uma combinação adequada de soluções construtivas leves com soluções construtivas pesadas, revela-se

numa melhor solução quer em termos económicos mas também em termos de comportamento ambiental.

Comparando estes dois tipos de soluções podemos afirmar que as soluções construtivas pesadas:

- Quando utilizadas em conjugação com o desenho passivo e com um bom isolamento térmico, o comportamento térmico é otimizado, sendo reduzida a energia necessária às operações de aquecimento/arrefecimento;
- São adequadas a climas com grandes amplitudes térmicas diurnas;
- Têm elevado impacto ambiental, principalmente devido à produção de grande quantidade de resíduos, utilização de equipamentos pesados, etc.

Por outro lado, as soluções construtivas leves:

- Quando utilizadas em climas com baixa amplitude térmica diurna, podem promover a diminuição do consumo global de energia durante o ciclo de vida do edifício;
- São adequadas a climas quentes com baixas amplitudes térmicas diurnas;
- Têm geralmente um impacto ambiental mais reduzido.

Existem actualmente soluções construtivas não convencionais para paredes exteriores que, quando correctamente aplicadas e aplicadas em locais com climas adequados a essas soluções, produzem resultados muito positivos do ponto de vista térmico.

3.2.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS

As paredes exteriores assumem uma importância vital no panorama do edifício pois são elas que, juntamente com os pavimentos exteriores e as coberturas, são responsáveis pela barreira entre o interior e o exterior. Além da sua importância a nível estrutural, devendo ser estável e durável, uma parede exterior é responsável por manter o ambiente interior dentro de determinadas características de conforto e habitabilidade, protegendo-o das adversidades climatéricas, fogo, insectos, animais e humanos. É através destas barreiras que separam o exterior do interior que se verificam a maior parte das trocas térmicas pelo que se revela essencial a escolha cuidadosa da solução construtiva a adoptar, para que se reduza não só o consumo de energia nas operações do conforto térmico dos ocupantes mas também para que este seja cada vez mais efectuado de uma forma mais natural e menos mecânica – contribuindo assim para a construção sustentável.

Irão ser apresentadas algumas soluções construtivas de paredes exteriores, estando essas soluções divididas em 4 grupos de tecnologias construtivas:

- Parede dupla;
- Parede simples com isolamento contínuo pelo exterior;
- Parede simples com isolamento contínuo pelo interior;
- Parede com estrutura metálica leve.

As paredes duplas constituídas por panos de alvenaria de tijolo vazado dominam actualmente as soluções construtivas no nosso país. As espessuras dos panos interiores e exteriores podem variar indo dos 7 aos 22 cm, produzindo soluções de menor e maior robustez respectivamente. Quanto ao isolante este é usualmente em placas ou projectado podendo preencher totalmente ou parcialmente a caixa-de-ar.

O surgimento das paredes duplas verificou-se em Portugal no início dos anos 30, em virtude da tentativa de se eliminar a humidade verificada nas paredes exteriores melhorando também o comportamento térmico dos edifícios da altura. A constituição destas pode ser de vários materiais: betão armado, betão de agregados leves, blocos de betão autoclavado, tijolo maciço ou furado, etc.

A principal vantagem da parede dupla em relação às soluções construtivas simples é a existência da caixa-de-ar. Esta melhora consideravelmente o comportamento acústico e evita que a humidade atravesse o pano exterior para o pano interior. Por outro lado, existem actualmente várias empresas que dominam esta tecnologia tornando o seu custo inicial muito competitivo quando comparado com outras soluções.

Como desvantagens pode-se apontar o maior tempo de execução pois são necessários executar dois panos, sendo que o processo de montagem é totalmente manual. Esta técnica está associada à produção de grande quantidade de resíduos, o que se justifica pela sua fragilidade tanto no transporte como na montagem e também pela necessidade de se proceder à realização de remates e instalação de tubagens. A sua reutilização é também impossível.

A solução construtiva mais utilizada nos dias que correm, a solução tradicional, é composta por dois panos de alvenaria de tijolo vazado, tendo o exterior 15 cm e o interior 11 cm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar de 4 cm parcialmente preenchida por isolante térmico em placas de poliestireno expandido extrudido com 3 cm e fixado ao exterior do pano interior. Ambos os paramentos interior e exterior encontram-se rebocados por 2 cm de reboco tradicional. Apresenta-se em seguida, em corte esquemático a solução construtiva:

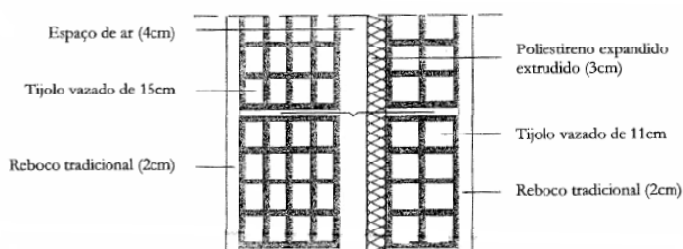


Fig.3.5 – Parede dupla em alvenaria de tijolo vazado [14]

Outra solução construtiva igualmente aplicada na actualidade consiste nos mesmos materiais referidos anteriormente apresentando no entanto ambos os panos a mesma espessura. Esta solução não se revela uma boa opção em termos acústicos pois a facto de os dois panos terem a mesma espessura repercute-se em pior isolamento sonoro. A figura seguinte pretende representar a solução referida:

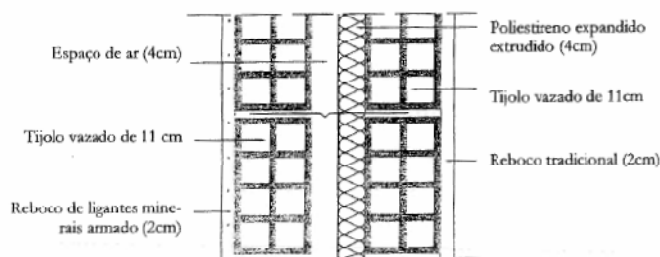


Fig.3.6 – Parede dupla com panos iguais em alvenaria de tijolo vazado [14]

A solução seguinte é constituída por um pano de tijolo maciço de 7 cm colocado no exterior e por um pano interior de tijolo vazado de 11 cm. São separados por uma caixa-de-ar de 4 cm, parcialmente preenchida com isolante térmico em placas de poliestireno expandido extrudido de 4 cm de espessura e fixado ao pano interior. O paramento interior é revestido por um reboco tradicional de 2 cm. A figura seguinte representa em corte esquemático a solução descrita:

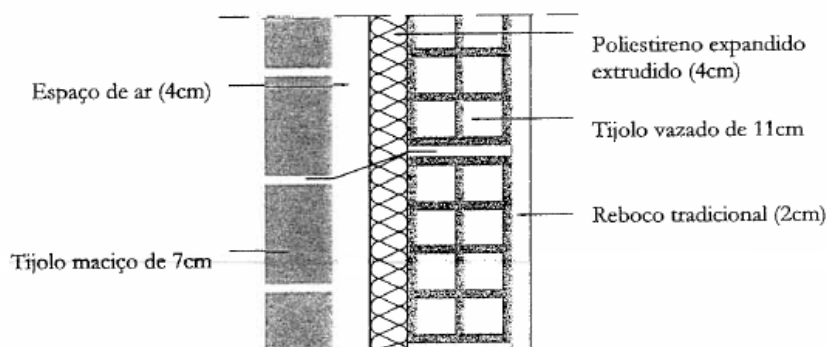


Fig.3.7 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em alvenaria de tijolo furado [14]

Outra variante da solução tradicional consiste em colocar no pano exterior uma alvenaria de tijolo maciço de 7 cm e um pano interior em betão armado de 15 cm de espessura. A caixa-de-ar e as placas de poliestireno expandido extrudido têm ambas 4 cm e o reboco tradicional 2 cm. A figura seguinte ilustra a solução descrita:

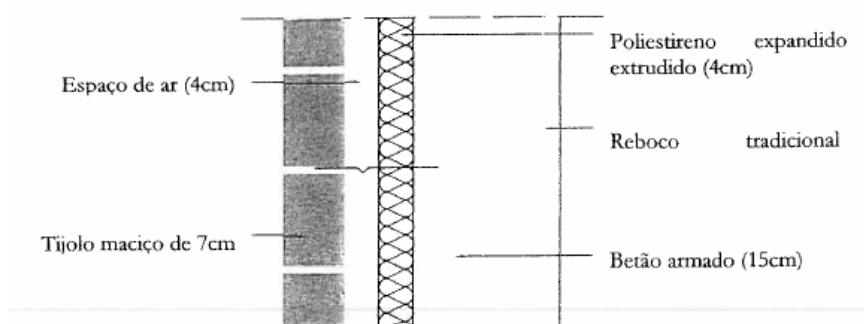


Fig.3.8 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço e pano interior em betão armado [14]

Outra solução construtiva semelhante à anterior, mantém o pano exterior em tijolo maciço de 7 cm mas altera o pano interior, sendo este constituído por blocos de betão celular autoclavado de 17,5 cm. A caixa-de-ar tem 4 cm e o material isolante é realizado em poliestireno expandido moldado com 1 cm de espessura. O pano interior é rebocado com 2 cm de espessura. A solução construtiva descrita está representada na figura seguinte:

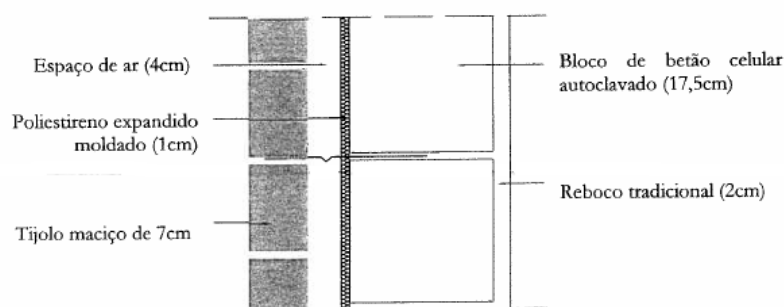


Fig.3.9 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de tijolo maciço com face à vista e pano interior em alvenaria de blocos betão celular autoclavado [14]

Uma solução construtiva de espessura total mais elevada pode ser constituída por um pano exterior em alvenaria de pedra granítica de 30 cm de espessura e por um pano interior em tijolo furado com 11 cm. A caixa-de-ar com 4 cm é parcialmente preenchida por placas de poliestireno expandido extrudido de 4 cm sendo o paramento interior revestido com reboco tradicional com 2 cm de espessura. Em seguida apresenta-se uma figura que representa a solução descrita:

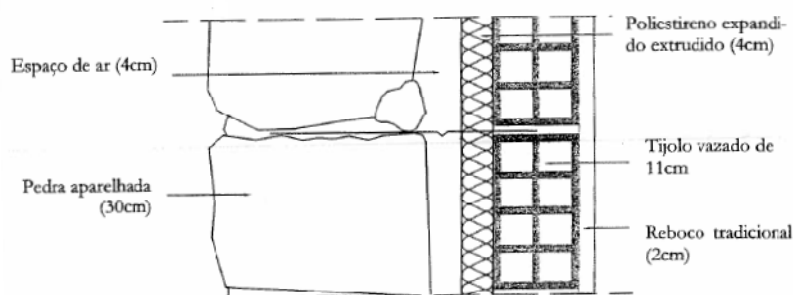


Fig.3.10 – Parede dupla com pano exterior em alvenaria de pedra e pano interior em alvenaria de tijolo vazado [14]

Outra solução construtiva, porventura menos corrente, seria composta por dois panos de alvenaria de pedra, tendo o exterior 12 cm e o interior 15 cm. Os panos estão separados por 4 cm de caixa-de-ar parcialmente preenchida por 5 cm de placas de poliestireno expandido extrudido. A figura seguinte ilustra a solução construtiva descrita:

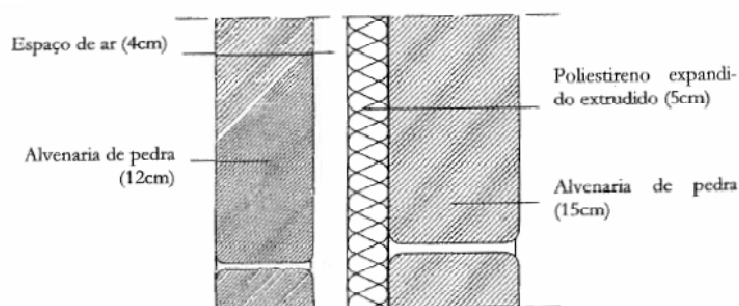


Fig.3.11 – Parede dupla com panos em alvenaria de pedra aparelhada [14]

A opção pela solução construtiva constituída pela parede simples com isolamento contínuo pelo exterior apresenta vantagem em relação à colocação do isolamento pelo interior. Isto essencialmente porque tira-se melhor partido da inércia térmica da parede e porque o isolamento é aplicado continuamente impedindo as pontes térmicas.

Dentro das soluções construtivas aplicando o isolamento pelo exterior, podemos destacar dois grupos distintos:

- Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS).

Nas soluções do primeiro tipo, o isolante térmico é aplicado ao pano exterior da parede, sendo depois fixadas a este, estruturas de suporte metálicas. O revestimento descontínuo apoiar-se-á nessas estruturas devidamente afastado do isolamento térmico, criando nesse espaço uma caixa-de-ar fortemente ventilada. O revestimento pode ser de diversos materiais como placas metálicas, de fibrocimento ou plásticas. Em seguida apresenta-se uma figura que pretenderá ilustrar um tipo de solução com as características acima descritas:

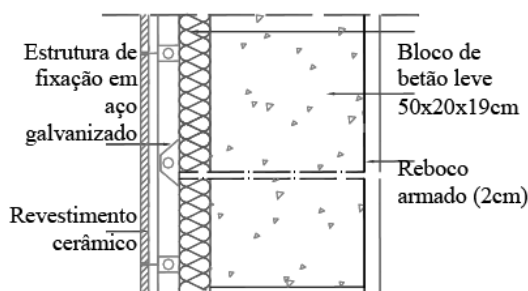


Fig.3.12 – Parede ventilada com elemento de suporte em alvenaria de blocos de betão leve e revestimento exterior descontínuo em material cerâmico fixado em estrutura metálica [14]

Nas soluções do segundo grupo, estas podem ser diferenciadas consoante utilizem revestimentos espessos de ligantes minerais, armados (rebocos armados), sobre isolante ou revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados, sobre isolante.

Neste tipo de soluções o isolante mais utilizado é o poliestireno expandido moldado em placas, podendo o elemento de suporte ser constituído por blocos de betão leve, betão armado, pedra ou alvenaria de tijolo. O facto de ser constituída por apenas um pano faz com que este tipo de soluções sejam menos espessas, isto apesar do elemento de suporte ter geralmente cerca de 20 cm.

Esta é uma tecnologia recente pelo que ainda não está bem implementada no mercado da construção, exigindo mão-de-obra especializada.

As soluções construtivas serão constituídas pelo elemento de suporte, que pode ser realizado pelos materiais já descritos, com espessura variável, onde é aplicado um isolante térmico. O isolante geralmente é o poliestireno expandido moldado em placas e apresenta espessuras da ordem dos 6 cm. Sobre a camada do isolante aplica-se um reboco armado de ligantes minerais com cerca de 2 cm de espessura. Em seguida apresentam-se quatro figuras, em corte esquemático, que pretendem demonstrar algumas soluções construtivas possíveis:

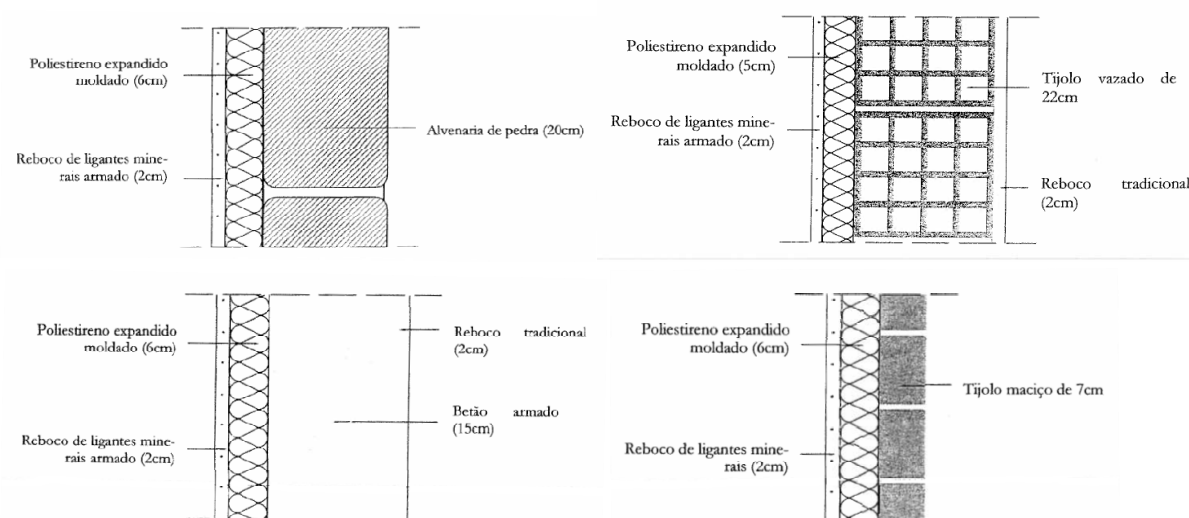


Fig.3.13 – 4 soluções construtivas de parede simples com isolamento contínuo pelo exterior [14]

As soluções construtivas que recorrem a isolamento térmico pelo interior passam pela utilização de painéis com isolante prefabricados com a altura do andar, sendo os mais comuns compostos por um paramento de gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico realizado em placas de poliestireno expandido moldado ou em placas. Estes painéis podem ser directamente colados à parede ou ficarem apoiados numa estrutura de suporte criando assim uma caixa-de-ar.

A procura de tecnologias construtivas mais sustentáveis que as tradicionais tem levado ao aparecimento de soluções mais leves e com maior grau de industrialização. A utilização de perfis metálicos, obtidos por moldagem a frio de chapa galvanizada de aço, consegue produzir uma solução mais delgada com comportamentos térmicos elevados. Esta solução integra espessas camadas de isolantes contribuindo assim para a redução das perdas e ganhos de calor. No entanto a baixa inércia deve ser compensada pela existência de outros elementos construtivos de massa elevada. Esta é também uma tecnologia recente em Portugal, que exige mão-de-obra especializada tornando-a pouco competitiva em termos económicos. No entanto os perfis, no fim do seu ciclo de vida podem ser reutilizados ou reciclados.

A solução construtiva utilizando este material passaria por perfis de aço com 14 cm de altura sendo o revestimento interior constituído por duas camadas de gesso cartonado, fixadas mecanicamente à estrutura de aço, com 2,5 cm de espessura. O revestimento exterior é composto pelo revestimento estrutural e pelo revestimento composto de isolamento térmico contínuo pelo exterior. O revestimento estrutural é constituído por painéis OSB (Oriented Straded Board), com 1,2 cm de espessura, fixados mecanicamente à estrutura. Sobre os painéis OSB é fixada a camada isolante, poliestireno expandido moldado em placas, com 1 cm de espessura, seguindo-se por fim o reboco armado de ligantes minerais com 1 cm de espessura. A cavidade formada entre os revestimentos interior e exterior é preenchida por camadas de mantas de lã de rocha, que perfazem uma espessura total de 14 cm. Entre a lã mineral e o paramento exterior deve ser colocada uma barreira pára-vapor em papel kraft. A solução construtiva descrita encontra-se representada, em corte esquemático, na figura seguinte [14]:

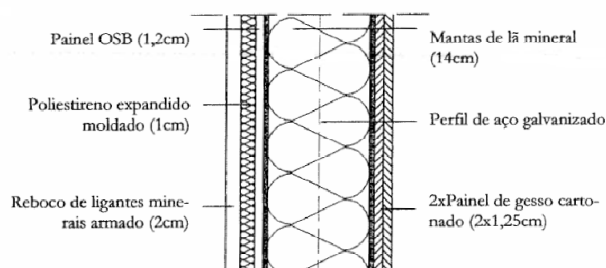


Fig.3.14 – Parede com estrutura em perfis leves de aço [14]

3.2.3. SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior começam a tornar-se cada vez mais comuns nas construções de edifícios em Portugal, nomeadamente em reabilitações de edifícios antigos, pois apresentam algumas vantagens em relação aos sistemas mais tradicionais e também porque os sistemas ditos tradicionais não conseguem cumprir com eficácia a totalidade das novas exigências térmicas e higrométricas impostas pelo novo RCCTE.

Na reabilitação torna-se principalmente eficaz quando estas se apresentam com um aspecto degradado, com problemas de estanquidade ou com insuficiente isolamento térmico. Além disso, podem diminuir o risco de ocorrência de condensações, tratando de certo modo as pontes térmicas. Estes sistemas constituem uma óptima solução, tanto do ponto de vista construtivo como do ponto de vista energético.

De uma forma geral os sistemas de isolamento pelo exterior são compostos por uma camada de isolamento térmico aplicada directamente sobre o suporte e um paramento exterior que o protege das solicitações climáticas e mecânicas [7].

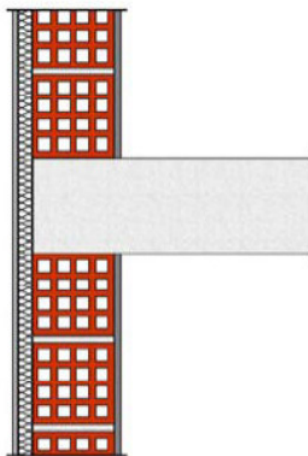


Fig.3.15 – Exemplo de isolamento pelo exterior [8]

Podemos dividir em três os grupos de sistemas de isolamento térmico pelo exterior actualmente existentes:

- Revestimentos descontínuos fixados ao suporte, através de uma estrutura intermédia – Fachada Ventilada;
- Componentes prefabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados directamente ao suporte – “Vêture”;
- Rebocos delgados armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico – ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems with rendering*).



Fig.3.16 – Aplicação do sistema “Vêture” [7]

Como vantagens principais destes sistemas podemos apontar:

- Redução das pontes térmicas, fundamental para o aumento da resistência térmica global da envolvente e para evitar condensações superficiais;

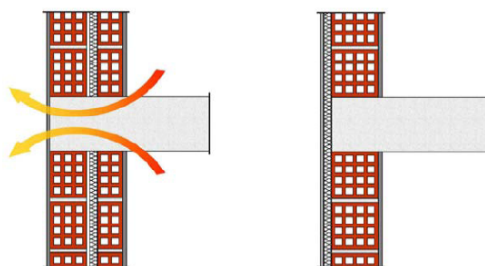


Fig.3.17 – Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas [8]

- Economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento do ambiente interior;
- Diminuição do risco de condensações superficiais e internas;
- Melhoria do conforto térmico de Inverno resultante do aumento de inércia térmica interior, dado que toda a massa das paredes da envolvente pode armazenar calor;
- Melhoria do conforto térmico de Verão, igualmente devido ao aumento de inércia térmica interior, atendendo a que as paredes têm um papel de regulação da temperatura, absorvendo calor nas horas mais quentes do dia para depois o restituir durante a noite;
- Diminuição da espessura das paredes exteriores permitindo o aumento da área habitável;
- Redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- Aumento da permeabilidade das paredes;
- Diminuição do gradiente de temperatura a que são sujeitas as camadas interiores das paredes;

- Possibilidade de mutação do aspecto das fachadas e colocação em obra sem incomodar os ocupantes, o que torna esta técnica de isolamento particularmente adequada na reabilitação de fachadas degradadas;
- Simplicidade de colocação em obra por colagem;
- Grande variedade de cores e texturas de acabamento;
- Aumento da durabilidade das fachadas que se encontram protegidas da acção dos agentes climáticos e atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc);

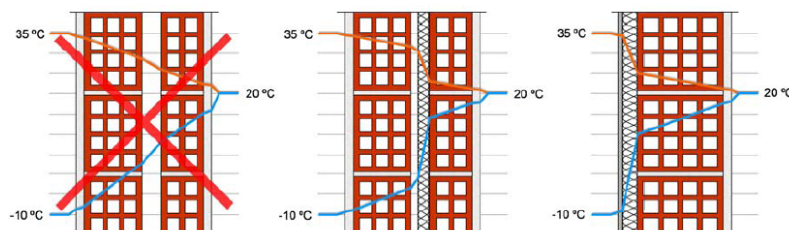


Fig.3.18 – Comparação entre os gradientes de temperatura a que estão sujeitas três paredes com revestimento de cor clara [8]

Por ser aquele que porventura apresenta mais vantagens, o sistema ETICS tornou-se hoje numa solução bastante apreciada sendo incontestáveis as suas valências como técnica de alta qualidade. Esta solução responde às crescentes necessidades de conforto higrotérmico, intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e protecção ambiental, permitindo isolar termicamente a envolvente dos edifícios, minimizando assim as trocas de calor com o exterior. A resistência térmica do sistema deverá ser sempre superior a $1 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$ [8].

Relativamente à forma de fixação, os ETICS podem classificar-se em:

- Sistemas colados (incluindo ou não fixações mecânicas complementares);
- Sistemas fixos mecanicamente (incluindo ou não colagem complementar).

Os ETICS mais frequentes no mercado são constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS) revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro. Como acabamento é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso (RPE).

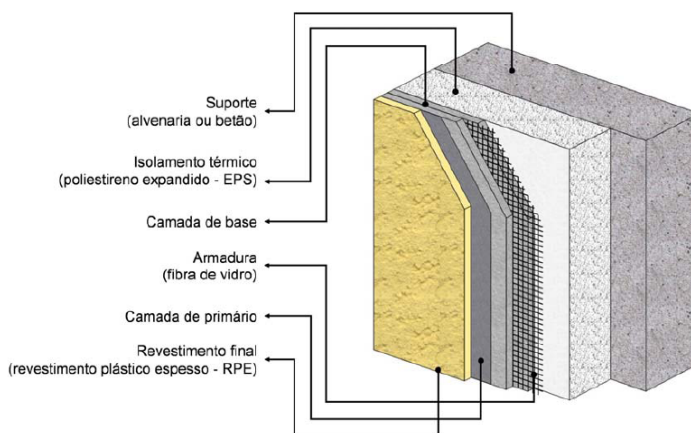


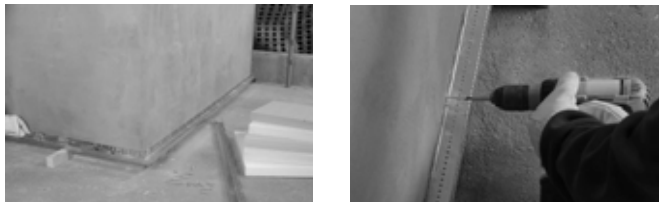
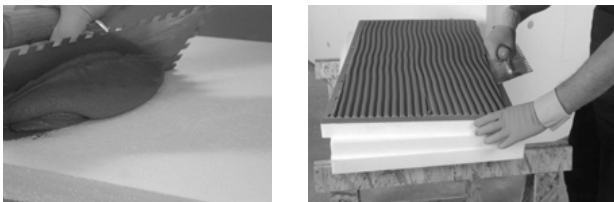
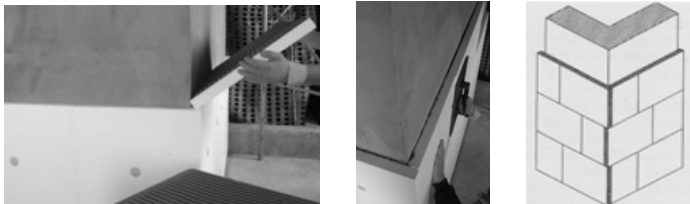


Fig.3.19 – Composição esquemática de um ETICS constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido [8]

Os ETICS destinam-se a ser aplicados em superfícies planas verticais exteriores de edifícios novos ou existentes (reabilitação), e também em superfícies horizontais ou inclinadas desde que não estejam expostas à precipitação. Os suportes podem ser constituídos por:

- Paredes em blocos de betão leve com argila expandida;
- Paredes em alvenaria de tijolo, blocos de betão, pedra ou betão celular;
- Paredes de betão de inertes correntes ou leves;
- Painéis prefabricados de betão.

É possível a aplicação do sistema em suportes rebocados, pintados ou com revestimentos orgânicos ou minerais, desde que convenientemente preparados, envolvendo essa aplicação várias fases [9]:

Quadro 3.1 – Fases de aplicação do sistema ETICS

Fases de aplicação do sistema ETICS		
		Montagem dos perfis de arranque e laterais
Preparação da cola		
		Aplicação da cola
		Colocação do isolamento
		Reforço dos pontos singulares
		Aplicação da camada de base armada



Aplicação da camada de primário



Aplicação do revestimento final

Em edifícios novos a fixação do sistema deverá ser assegurada por colagem, excepto se existir incompatibilidade entre a cola e o suporte (por exemplo, presença de um produto de descofragem que não permita a aderência da cola). A colagem é preferível porque permite minorar os eventuais movimentos do isolamento térmico e assim limitar as tensões ao nível das juntas entre as placas.

Quando se utilizam ETICS na reabilitação das fachadas de edifícios a opção entre fixação mecânica e colagem é mais complexa. Em suportes pintados ou com revestimentos orgânicos, a utilização de sistemas fixos mecanicamente permite dispensar a decapagem das fachadas, que por vezes é de difícil realização. Pelo contrário, em suportes constituídos por elementos perfurados poderá ser necessária uma grande densidade de fixações mecânicas, devido aos reduzidos valores de carga admissível por fixação [8].

No entanto este sistema apresenta algumas desvantagens. Uma delas deve-se ao facto de este ser um sistema com uma fraca resistência mecânica, em particular devido ao punçoamento dinâmico, recomendando-se por isso, para alturas inferiores a 3 m a colocação de um reforço com uma rede de fibra alcali-resistente dupla composta por uma camada de armadura normal e uma camada de armadura reforçada. Outra situação que pode condicionar o emprego desta solução é a sua susceptibilidade a alguns agentes químicos, em particular à acetona, a qual causa a rápida degradação do material. Outra condicionante ao emprego desta solução em edifícios de altura superior a 28 m é a limitação conferida pela regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios de habitação (DL 64-90 de 21 de Fevereiro), cujo artigo 67º-1 interdita em paredes exteriores o emprego de materiais com a classe de reacção ao fogo M1. O sistema ETICS, aplicando poliestireno expandido, vulgo EPS, da classe de reacção ao fogo M1, apresenta uma classe M2, inviabilizando assim a sua aplicação face à determinação regulamentar.

A aplicação do ETICS reveste-se também de algumas dificuldades. O facto da espessura total de uma parede com ETICS ser da ordem dos 20 cm, faz assim sobressair os pilares e as vigas que dificilmente terão essa espessura. Outra dificuldade prende-se com os pontos singulares, como por exemplo, o limite inferior do sistema, ligação com o contorno da cobertura e vãos envidraçados, tratamento de juntas de dilatação, etc. A correcção das pontes térmicas deve-se essencialmente à continuidade do isolamento por toda a envolvente do edifício pelo que se revela de extrema importância detalhar em projecto os pontos singulares, identificando-os e apresentando com clareza os desenhos de pormenor desses mesmos pontos.

3.2.4. PAREDE DE TROMBE

A **parede de Trombe** é uma tecnologia de paredes exteriores que surgiu no âmbito da arquitectura solar passiva e que resultou da evolução desse conceito. A arquitectura solar passiva não é mais do que um tipo de arquitectura que dá especial atenção aos aspectos da adaptação da construção ao clima do lugar, sendo essa adaptação conseguida através de meios naturais. Isto pode resultar numa solução confortável, menos dispendiosa e acima de tudo, com menor impacte sobre o meio ambiente.

A parede de Trombe funciona sobre um sistema de ganhos energéticos indirectos, o que significa que, este sistema vai acumular calor durante as horas de incidência solar, libertando para o interior esse calor mais tarde quando há necessidades de aquecimento. As temperaturas interiores sofrerão assim oscilações menores traduzindo-se em maior conforto térmico e o pico da temperatura será retardado e diminuído. É uma solução que contribui para a sustentabilidade da construção na vertente do impacto ambiental.

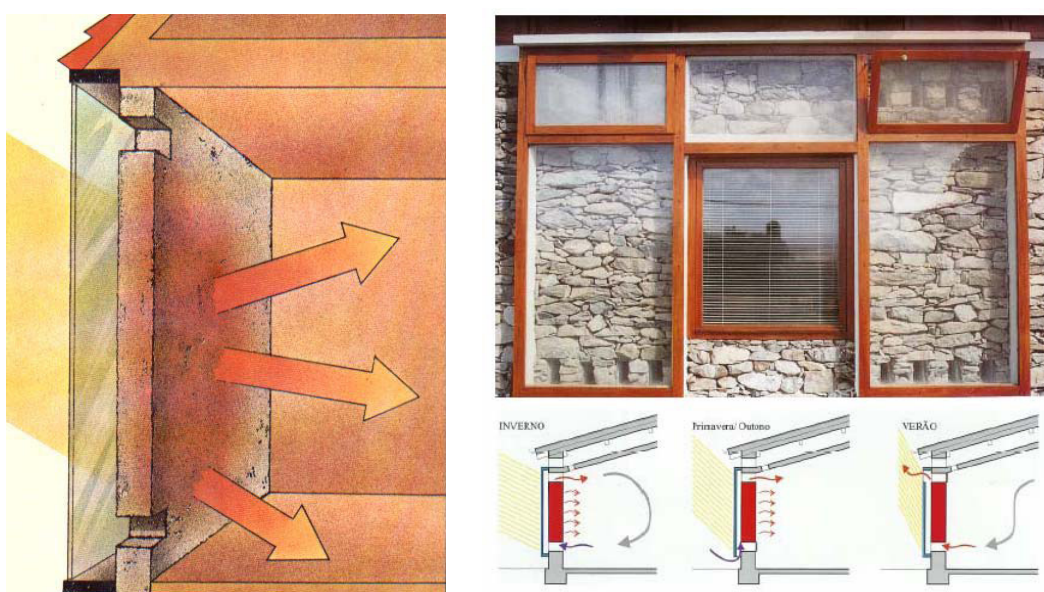


Fig.3.20 – Exemplos de paredes de Trombe e esquema do seu funcionamento consoante as estações do ano [41]

A sua constituição é geralmente composta por um pano simples ou duplo de vidro no exterior, orientado a Sul, uma câmara-de-ar e um elemento confinador. O elemento confinador é geralmente em betão armado, pedra ou adobe e de espessura na gama dos 200 a 400 mm. A sua superfície é normalmente de cor escura e a sua função é acumular calor durante a incidência solar e libertá-lo por condução apenas após o momento em que o sol se põe. O vidro está espaçado do elemento confinador cerca de 20 a 150 mm de maneira a criar aí uma caixa-de-ar que também vai acumular calor de maneira a aquecer ainda mais a parede. Podem ser criadas aberturas de ventilação no topo e na base do elemento confinador. No caso de estas existirem, há que regular essas aberturas, pois estas estando abertas, irão promover uma circulação de ar da caixa-de-ar para o interior – o ar quente sobe entrando no interior da divisão e empurra o ar frio no sentido descendente, de maneira a que este saia da divisão para a caixa-de-ar aquecendo de novo – aquecendo mais rapidamente o interior. A esta circulação dá-se o nome de “caracol convectivo”. Terminando a incidência solar, este efeito deixa de existir, as aberturas devem ser fechadas, e numa parede de Trombe bem dimensionada, entra neste momento em

acção a inércia térmica da parede, começando esta a libertar calor para o interior por condução e por convecção. Assim, dado que a energia começa a atravessar a parede no momento em que nesta começa a incidir a radiação solar, o número de horas que o calor demora a atravessar a parede deve coincidir com o número de horas de incidência solar.

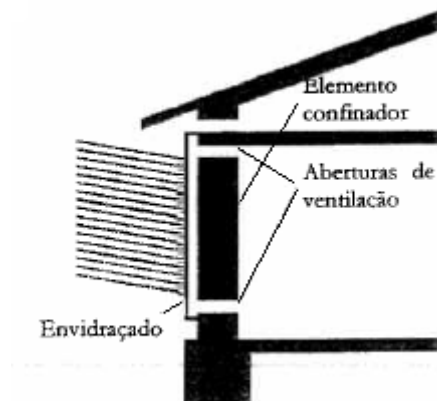


Fig.3.21 – Representação esquemática da parede de Trombe [14]

É possível então enumerar algumas das vantagens e desvantagens desta solução:

Quadro 3.2 – Vantagens e desvantagens da Parede de Trombe [14]

Vantagens	Desvantagens
Sistema de aquecimento passivo de baixa manutenção	Não permite iluminação natural
Reduz o consumo de energias não renováveis para o aquecimento (vantagens económicas e ambientais)	Formação de condensações no envidraçado, podendo levar à degradação dos materiais de construção
A flutuação de temperatura no espaço habitado é mais baixa	Sem radiação solar prolongada, o sistema não funciona sendo necessário recorrer aos tradicionais sistemas de aquecimento. A elevada massa da parede e a ausência de isolamento térmico propiciam a perda do calor produzido no interior retardando o aquecimento
Não entra luz solar na divisão, logo protege contra os raios ultravioleta e permite mais privacidade	A elevada espessura da parede que diminui o espaço útil de construção
	Maior custo de construção devido á necessidade de se construir duas paredes voltadas a sul – uma em vidro, outra opaca

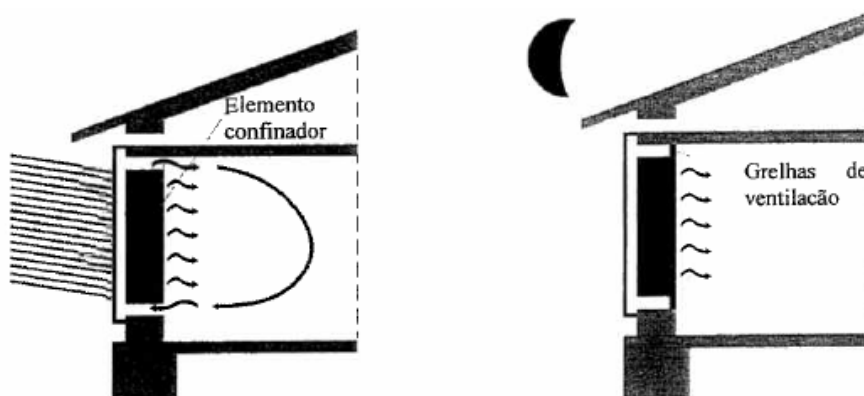


Fig.3.22 – Funcionamento da parede de Trombe durante o dia e durante a noite (Inverno) [14]

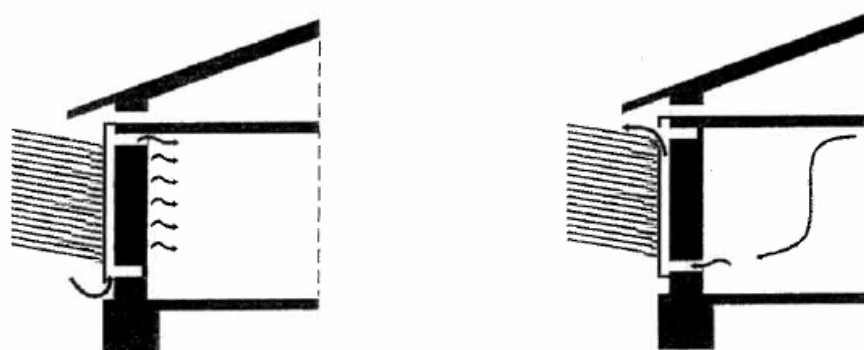


Fig.3.23 – Funcionamento da parede de Trombe durante as estações amenas (Outono/Primavera) e durante a estação de arrefecimento (Verão) [14]

3.2.5. FACHADA VENTILADA

Outra solução construtiva não convencional muito utilizada designa-se por **fachada ventilada**. Este é um tipo de solução que evoluiu da necessidade de se criarem fachadas cada vez mais finas, com materiais delgados de funções específicas. É particularmente adequada a edifícios cuja necessidade de reabilitação é evidente pois a sua aplicação não exige alterações estruturais de fundo, sendo também naturalmente aplicável à construção de novos edifícios.

A sua constituição baseia-se num revestimento exterior fixado ao elemento de suporte, seguido de uma caixa-de-ar, uma estrutura de fixação, uma camada de isolamento contínuo sobre o paramento exterior do elemento de suporte e pelo elemento de suporte.

O revestimento exterior é descontínuo e não isolante e pode ser constituído por pedra natural, cerâmica ou vidro sendo fixado mecanicamente ao elemento de suporte. Este revestimento funciona como uma capa impermeabilizante da parede permitindo através das suas descontinuidades o arejamento da caixa-de-ar.

A caixa-de-ar terá entre 5 a 15 cm sendo este intervalo ajustável devido à estrutura de fixação que separa o revestimento exterior do elemento de suporte. O objectivo da caixa-de-ar é permitir a ventilação no sentido vertical através do efeito de chaminé.

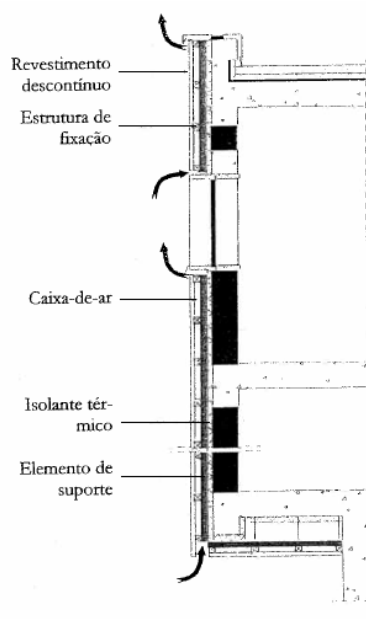


Fig.3.24 – Representação esquemática de uma fachada ventilada [14]

A estrutura de suporte deve ser em perfis de alumínio verticais e permitir a absorção de tensões por deformações devidas a choques térmicos e dilatações, incidência de ventos, etc. Neste campo podemos destacar dois tipos de sistemas de fixação:

- Sistemas de encaixe visível;
- Sistemas de encaixe invisível.

A principal diferença entre estes dois sistemas está nos grampos onde são fixadas as peças de revestimentos. No primeiro caso estes grampos vêm acoplados à estrutura de suporte e as peças encaixam-se ficando os grampos visíveis. Estes grampos devem ser protegidos contra a corrosão e para evitar as vibrações devidas ao vento é aconselhável a utilização de umas juntas de neoprene. Este sistema é mais prático, flexível e económico. Nos sistemas de encaixe invisível os grampos já vêm fixos às peças de revestimento – de preferência enroscados, para garantir maior estabilidade – e na obra são aplicadas à estrutura de suporte.

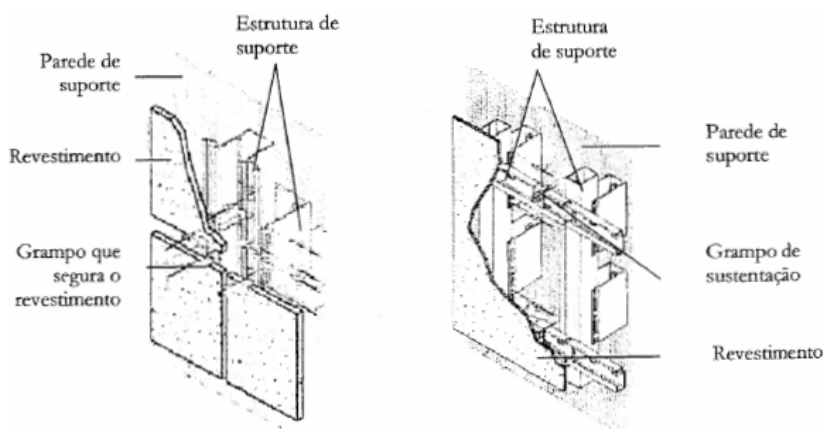


Fig.3.25 – Detalhe de colocação: encaixes visíveis e invisíveis [14]

A durabilidade do conjunto encontra-se então assegurada por dois elementos:

- O revestimento não-isolante descontínuo protege a parede das intempéries;
- A caixa-de-ar permite a eliminação de condensações e de humidades que eventualmente tenham atravessado o revestimento exterior através do efeito chaminé.

O isolamento térmico pode então ser de materiais não utilizados correntemente em fachadas convencionais como por exemplo a cortiça e a fibra de coco. O facto de este ser contínuo torna-o mais eficiente pois impede a formação de pontes térmicas, perfazendo por isso esta solução um excelente meio para reabilitação de fachadas com problemas de isolamento térmico. O isolamento térmico ao estar aplicado sobre o exterior faz com que a inércia térmica da parede esteja totalmente disponível para a inércia térmica do edifício. Além disso, a ventilação da caixa-de-ar impede o aquecimento do ar aí existente, não havendo por isso passagem de calor por convecção para o interior. Daí que esta solução diminua o consumo energético tanto na estação de aquecimento como de arrefecimento.

Em termos de isolamento acústico, esta técnica é superior às tradicionais pois o revestimento descontínuo dissipa parte da energia sonora.

A estabilidade estrutural é elevada pois o revestimento ao ser descontínuo previne o risco de haver fissurações pois as amplitudes térmicas diurnas e sazonais não interferem no revestimento, sendo as tensões daí derivadas absorvidas pela estrutura de fixação.

Esta solução permite ainda uma manutenção simples e eficaz pois os elementos estão independentes uns dos outros, sendo facilmente substituíveis. O facto de a caixa-de-ar ter uma espessura razoável permite ainda a utilização desse espaço para a passagem de tubagens e cabos de instalações sanitárias e eléctricas.

Apresenta-se em seguida um quadro que resume as principais vantagens e desvantagens desta solução:

Quadro 3.3 – Vantagens e desvantagens da fachada ventilada [14]

Vantagens	Desvantagens
Isolamento térmico mais eficiente e disponibilização total da parede para inércia térmica interior (diminuição do consumo energético para climatização e menores amplitudes térmicas interiores)	O aspecto exterior é condicionado pelo revestimento
Risco muito reduzido de fissuração do revestimento (diminuição dos efeitos da dilatação térmica)	Está mais sujeita a degradação por vandalismo
Manutenção simples e reduzida	Custo de instalação mais elevado
Protecção do isolamento térmico, estrutura do edifício e parede contra as intempéries (maior durabilidade)	Maior dificuldade de execução de remates, cunhais e saliências
Eliminação das condensações por obra da caixa-de-ar que facilita a eliminação de vapor de água e humidades acumuladas prevenindo assim infiltrações	A caixa-de-ar se não for correctamente seccionada é um meio propício para propagação de fogo entre pisos

O isolamento térmico pelo exterior permite maximizar o espaço interior, através da construção de paredes com menor espessura

Melhor isolamento acústico

Grande potencial na reabilitação de fachadas com problemas térmicos, acústicos e higroscópicos

Podemos resumir esta solução como sendo adequada tanto para edifícios novos como para edifícios a necessitar de reabilitação do ponto de vista térmico. É uma solução económica do ponto de vista térmico, que diminui o risco de degradação precoce dos materiais, evitando pontes térmicas e condensações, dotando o edifício de uma qualidade e conforto superiores.

3.3. PATOLOGIAS FREQUENTES EM FACHADAS

3.3.1. GENERALIDADES

De modo algo simplista, é corrente identificarem-se quatro grandes gerações de patologias das paredes de alvenaria, associadas a quatro fases de evolução das paredes de pedra e de tijolo. As paredes de pedra apresentavam elevadas perdas de calor e grande probabilidade de condensações generalizadas que foram ultrapassadas pelas paredes de tijolo furado, em pano único. Estas, demasiado sensíveis à humidade, deram lugar às paredes duplas (posteriormente com isolamento térmico) que vieram a materializar as pontes térmicas. A correcção das pontes térmicas surge por vias diversas: paredes de pano único com isolamento térmico pelo exterior com revestimento delgado armado ou protecção da estrutura com elementos cerâmicos furados. Estas duas soluções disputam, agora, a 4ª geração de patologias: fungos, empolamentos, deteriorações localizadas e falta de planeza, nas primeiras, fissuração e instabilidade nas segundas [21].

As fachadas são um dos elementos dos edifícios que fazem a separação entre o ambiente interior e o exterior, que pelo seu contacto com os elementos atmosféricos, mais sofrem com as suas acções, sendo por isso frequentemente o seu desempenho diminuído e desadequado das exigências. Segundo dados estatísticos, verifica-se que as paredes exteriores são responsáveis por 22% das anomalias em edifícios. Das anomalias nas paredes exteriores, cerca de 90% estão associadas a fendilhações e infiltrações de humidade [20]. São frequentes os exemplos de patologias em fachadas de edifícios e estas podem ter várias causas podendo estas ocorrer quer na concepção quer durante a vida útil da obra, sendo naturalmente agravadas pela acção dos agentes exteriores. Em último caso, mesmo que a obra seja executada de acordo com as normas especificadas e que os materiais sejam os adequados, a ausência de manutenção do edifício leva à degradação e deterioração dos materiais tendo esta de ser mais frequente e profunda quanto mais velho for o edifício.

Em Portugal as patologias mais frequentes em fachadas podem ser divididas em dois grupos: as que ocorrem em paredes (elemento primário) e as que ocorrem em revestimentos e acabamentos. As patologias referentes ao primeiro grupo são as que afectam a parede como um todo como sejam a fissuração, a acção dos agentes ambientais e a presença de humidade, bem como de todos os fenómenos que dela advêm. Já as principais patologias referentes ao segundo grupo variam consoante o tipo de revestimento ou acabamento existente: em rebocos em paramentos exteriores encontramos

fissurações, empolamentos e destacamento dos rebocos; nas pinturas são frequentes as fissurações, o aparecimento de manchas e a alteração da cor, a perda de aderência e o destacamento; e em elementos de pedra pode ocorrer o desgaste, a fendilhação e/ou fracturação e eflorescências [17]. Por serem várias e de diversas causas, apenas serão abordadas neste capítulo as patologias directa ou indirectamente associadas a problemas de índole térmica.

Como já foi referido, a degradação das paredes exteriores tem origem em diversos aspectos tais como erros de construção, inadequação de materiais, falta de manutenção e deficiente uso de edifícios mas também e significativamente, erros de concepção. A evolução das condições de uso e dos padrões de qualidade inerentes às necessidades de conforto acrescidas na habitação conduziu a desajustes ao nível das exigências de habitabilidade, conforto e economia. A nível de conforto térmico, a situação portuguesa sofreu nas duas últimas décadas uma grande evolução, quer em termos de exigências, quer em termos de soluções adoptadas. Estas transformações levaram em grande medida ao surgimento de novos problemas nas construções, problemas esses que até então não se verificavam.

3.3.2. FISSURAÇÕES

Esta anomalia resulta da incapacidade das paredes de alvenaria resistirem a esforços de flexão, corte ou tracção. As fissurações são uma das patologias mais frequentes nas fachadas dos edifícios e também uma das mais problemáticas, não só pela fissuração em si, mas pelas patologias que poderão daí resultar se estas não forem tratadas atempadamente. A sua causa pode ter várias origens, sendo uma delas associada a problemas térmicos.

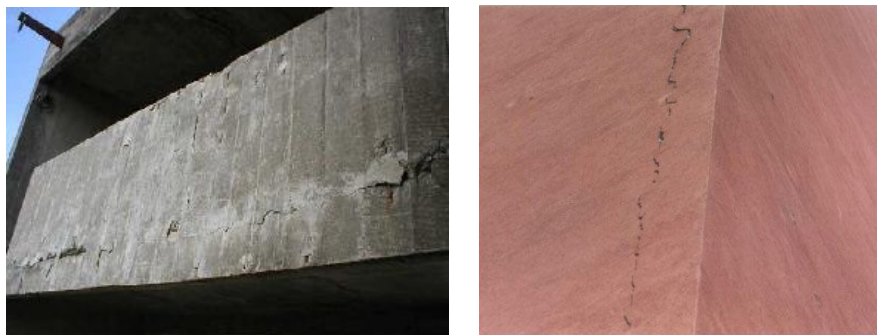


Fig.3.26 – Fissuras em fachadas de edifícios [44]

Em paredes exteriores sem isolamento ou mal isoladas, os elementos que as constituem ficam sujeitos a diferenciais de temperatura bastante elevados, principalmente nas paredes viradas a Sul e a Poente ou quando estas apresentam revestimentos com coeficiente de absorção elevado. Esta situação provoca nos materiais dilatações e contracções, gerando tensões significativas não só nos materiais como nas ligações entre outros elementos. A magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto e das propriedades elásticas dos materiais. A consequência deste fenómeno é que em alguns casos os elementos fissuram, quer por dilatação do próprio material que não resiste ao diferencial de temperatura, quer por ruptura da ligação entre dois materiais. Uma situação bastante frequente na construção portuguesa, encontra-se ilustrada na figura seguinte e que consiste em apoiar os panos de alvenaria exteriores em pequenas consolas que resultam de prolongamentos das lajes, sendo os topos forrados com espessuras mínimas de tijolo vazado não protegido termicamente.

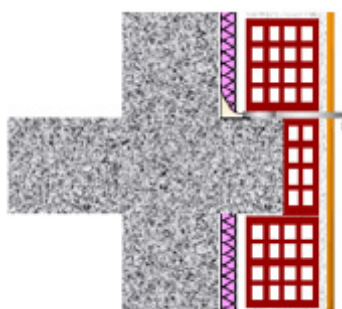


Fig.3.27 – Aspecto construtivo bastante frequente na construção portuguesa [44]

Este tipo de situação provoca geralmente fissurações ao nível das lajes pois verifica-se a expansão higrométrica do tijolo, devido às variações dimensionais quer por acção da temperatura, quer pela expansão irreversível resultante da acção da humidade. Se estes elementos não forem devidamente apoiados e travados, juntamente com as fissurações podem-se verificar problemas mais graves de estabilidade que a certo ponto podem significar a queda parcial ou total dos panos de alvenaria. De salientar que uma variação dimensional devido a variações de humidade resulta em movimentos mais lentos que os devidos a variações de temperatura, mas em sentidos opostos, pelo que não será correcto esperar uma compensação das duas.

As deformações das paredes por acção da solicitação de carácter higrométrico podem originar fissuras com desenvolvimento preferencialmente horizontal, nas zonas onde as tensões são mais elevadas, nomeadamente junto aos vãos. A aplicação de uma “forra” pelo exterior dos elementos estruturais em betão torna estes pontos mais frágeis e com maior propensão ao aparecimento de fissuras [18].



Fig.3.28 – Fissuração da fachada ao nível da padieira [44]

A fissuração de revestimentos ou de elementos exteriores é uma das patologias graves que necessitam de ser corrigidas rapidamente pois são uma entrada para a água no interior das paredes, situação bastante indesejável pois gera outro tipo de patologias como degradação dos materiais, eflorescências e criptoflorescências, bolores e fungos, descolamento de ladrilhos cerâmicos e placas de pedra (por degradação da camada de assentamento), aumento da condutibilidade térmica dos materiais, arrefecimento das superfícies e diminuição das condições de salubridade e conforto. O acréscimo da condutibilidade térmica associado à diminuição das temperaturas superficiais provocadas pela evaporação de água leva a que ocorram condensações superficiais.

3.3.3. EMPOLAMENTO E DESTACAMENTO

Frequentemente associadas às fissurações, estas duas patologias ocorrem quando a ligação entre o suporte e o revestimento enfraquece e não é capaz de manter os dois elementos solidarizados. A ausência de isolamento térmico ou um isolamento insuficiente pode expor os materiais a grandes amplitudes térmicas que provocam tensões elevadas de compressão e tracção, de carácter cíclico, que podem não ser suportadas pelos próprios materiais ou pela ligação entre estes. Outra situação vulgar nos edifícios portugueses construídos na década de 90, passava pela colocação do isolante térmico na caixa-de-ar ocupando-a na totalidade, provocando uma solicitação do pano exterior muito mais elevada que no pano interior, logo este iria expandir e fraccionar, provocando a queda do revestimento.



Fig.3.29 – Empolamento e destacamento do revestimento de uma fachada [44]

Revestimentos de cores escuras, ou seja, com coeficiente de absorção elevado ($\alpha > 0,7$), estão sujeitos a atingir temperaturas elevadas (da ordem dos 60 °C), o que significa variações dimensionais da ordem dos 0,5 mm/m. Estas variações dimensionais provocam esforços de corte nas interfaces de colagem de placas e esforços de compressão nas juntas entre placas, que por sua vez se traduzem em esforços de arrancamento que podem mesmo levar ao arrancamento das placas. É por isso aconselhado a escolha de cores claras para os revestimentos e rebocos pois podem melhorar em cerca de 20 °C o diferencial de temperaturas a que estes elementos estão sujeitos.

Em revestimentos de pedras naturais como xistos e granitos, a sua ligação ao suporte deve ser correctamente calculada, aconselhando-se o uso de fixações metálicas para placas de maiores dimensões ou através de uma colagem directamente ao suporte tendo-se no entanto o cuidado de limitar a dimensão das placas de pedra utilizadas. Verifica-se frequentemente que as quedas de revestimentos devem-se ao processo de colagem ao suporte pois as dimensões das placas de pedra apresentam um peso e dimensões superiores às mínimas admissíveis para este tipo de fixações.

3.3.4. MANCHAS DE HUMIDADE, FUNGOS E BOLORES

Na envolvente das habitações é frequente observarmos este tipo de patologias quando se verificam uma ou mais das seguintes condições [18]:

- Ausência de aquecimento interior ou aquecimento insuficiente e intermitente;
- Produção de vapor de água no interior da habitação ou compartimento significativa;
- Ventilação insuficiente;

- Higroscopicidade inadequada dos revestimentos exteriores;
- Deficiente isolamento térmico da envolvente.

Os esporos que existem no ar desenvolvem-se sempre que sejam criadas condições favoráveis, em particular uma temperatura e humidade relativa elevadas.

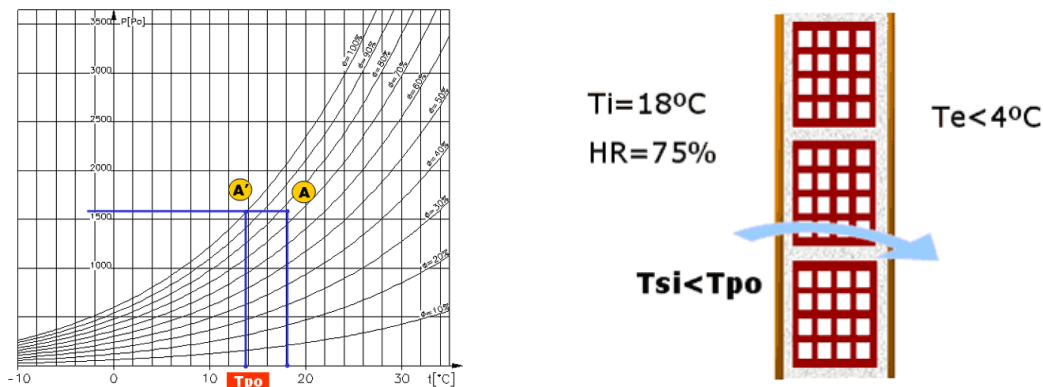


Fig.3.30 – Condições favoráveis à formação de condensações superficiais [44]

A generalidade das habitações construídas antes da década de 80 não dispunha de isolantes térmicos nos elementos da envolvente não os dotando por isso de inércia térmica. Os utilizadores eram por isso forçados a recorrer a sistemas de aquecimento no interior das habitações para usufruírem de conforto térmico. No entanto em habitações sociais, esse aquecimento não é muitas vezes possível devido aos custos envolvidos, e os utilizadores não efectuam ventilação regular ou porque não têm equipamentos mecânicos com esse fim ou porque não querem gerar mais desconforto térmico, sendo por isso frequente encontrar-se nestes casos condensações superficiais.

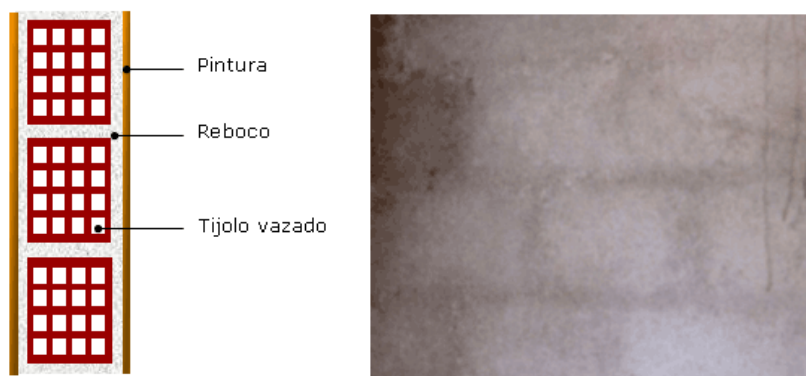


Fig.3.31 – Fachada sem isolamento térmico e parede com manchas de bolor [44]

As pontes térmicas se não forem devidamente tratadas, tornam-se pontos mais frios em relação aos elementos confinantes, pelo que a humidade presente nos compartimentos fracamente ventilados ao atingir essas superfícies, condensa passando ao estado líquido originando manchas de humidade.

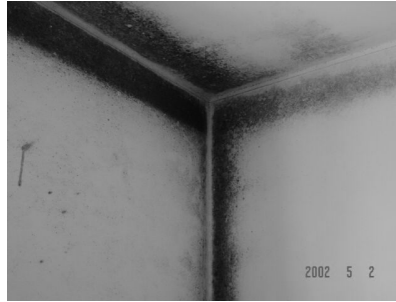


Fig.3.32 – Manchas de humidade resultantes de pontes térmicas não tratadas [22]

Como já foi referido, a ausência de isolamento térmico pode originar fissurações nos elementos da envolvente. As fachadas voltadas a Poente são as mais expostas à precipitação incidente acompanhada de vento e que conjugando-se com o facto de estarem também sujeitas a elevados gradientes de temperatura vai levar a que surjam fissurações por onde se vão infiltrar as águas das chuvas. Essa água vai atingir o interior das paredes e se as caixas-de-ar não forem correctamente tratadas vai-se acumular na sua base.

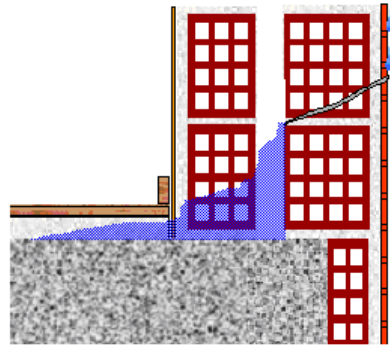


Fig.3.33 – Água acumulada na base das caixas-de-ar proveniente da precipitação [44]

O que se sucede é que as caixas-de-ar encontram-se frequentemente com lixo acumulado da fase de construção das fachadas e que não foi posteriormente removido, e que aliadas ao facto de não serem impermeabilizadas e não disporem de dispositivos de drenagem na sua base fazem com que essa água passe para o pano interior da fachada manifestando-se sobre a forma de manchas de humidade no interior das habitações.



Fig.3.34 – Manchas de humidade na superfície interior junto à base da fachada de um edifício de habitação [44]

3.3.5. EFLORESCÊNCIAS E CRIPTOFLORESCÊNCIAS

As eflorescências são um fenómeno de cristalização dos sais provenientes dos materiais de construção à superfície de um elemento, pois a água usada na construção vai dissolvê-los numa solução levando a que estes surjam à superfície conforme os materiais vão secando. A manifestação física deste processo consiste no aparecimento de manchas que afloram à superfície, alterando o aspecto visual do elemento tornando-se por isso mais um problema estético que estrutural, não deixando no entanto de preocupar quer fabricantes quer construtores pois acarreta sempre custos para ambos.

Porém esta patologia verifica-se também em sistemas construtivos mais recentes, como o sistema ETICS. Após períodos intensos de precipitação ou quando exista luminosidade e humidade suficiente, resultantes de condensações superficiais, que poderão ocorrer no período nocturno e cuja secagem é mais difícil a Poente e a Norte, não havendo tempo suficiente de secagem, pode-se verificar a formação deste tipo de patologias através da colonização de microorganismos. As escorrências em fachadas, a presença de vegetação próxima e a textura do revestimento são outros factores que contribuem para o aparecimento destas patologias.



Fig.3.35 – Presença de microorganismos na superfície exterior de uma fachada em ETICS [44]

A diferença entre eflorescência e criptoflorescência é que no primeiro caso a cristalização ocorre na superfície do material, enquanto que no segundo caso ocorre no interior do mesmo, manifestando-se por isso quando ocorre o destacamento e queda da camada superficial. Geralmente o processo de dissolução provoca um aumento de volume dos sais, degradando assim a superfície do revestimento onde ocorre. Esta patologia integra dois tipos de degradação: a mecânica, em que a acção dos agentes biológicos provoca a degradação do material, e a química, em que o principal factor de deterioração do material são determinados compostos químicos. As manifestações de biodeterioração são muito similares à degradação física, em que podem surgir pequenas fissuras, o material pode perder a sua coesão e tornar-se friável.

Alguns destes sais, chamados higroscópicos, têm a capacidade de absorver a humidade do ar dissolvendo-se, quando esta se encontra acima do intervalo entre 65 e 75%, voltando a cristalar-se quando abaixo deste intervalo, apresentando um significativo aumento de volume.

4

ESTUDO COMPARATIVO DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS

4.1 EXIGÊNCIAS DO ACTUAL RCCTE

4.1.1. O PASSADO, O PRESENTE E O FUTURO

O actual Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, vulgo RCCTE, aprovado a 4 de Abril de 2006 veio substituir o anterior regulamento que datava de 6 de Fevereiro de 1990. O anterior regulamento veio impor requisitos na execução de novos projectos e grandes reabilitações de maneira a que esses edifícios dispusessem de conforto térmico sem recorrerem em demasia a equipamentos de climatização, tanto no Inverno como no Verão. Ao mesmo tempo pretendia diminuir as patologias decorrentes de condensações superficiais e internas nos elementos da envolvente.



Fig.4.1 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios [30]

Actualmente verifica-se que a utilização de isolamentos térmicos nos edifícios é uma prática corrente, sendo diversos os casos em que este é aplicado muito para além do que o RCCTE exige. No entanto, desde então muitos foram os pressupostos que se alteraram dando origem a este novo regulamento.

Os equipamentos de climatização são hoje bastante utilizados o que fez com que o consumo de energia nos edifícios disparasse para valores muito elevados. Nesse sentido o actual regulamento pretende prever e limitar esses consumos, partindo do princípio que os edifícios dispõem de condições para instalarem sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.

O ambiente interior das habitações também mereceu especial atenção, uma vez que se tem vindo a deteriorar, não só devido à emissão de poluentes provenientes desses mesmos equipamentos de climatização mas também devido à evolução das caixilharias que são cada vez mais estanques impedindo a circulação de ar. Nesse contexto, foram criadas taxas mínimas de renovação do ar interior das habitações, situando-se esse valor nas 0,6 renovações horárias, garantindo assim uma melhor qualidade do ar interior.

Mas talvez a medida mais importante continue a ser a implementação do regulamento na fase de licenciamento, sendo o controlo actualmente ainda mais apertado através da obrigatoriedade de dotar o projecto de um certificado de eficiência energética, por análise de um perito qualificado.

As normas europeias são claras e Portugal comprometeu-se a aceitá-las e cumpri-las. Os países membros devem actualizar periodicamente os seus regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos novos edifícios e daqueles sujeitos a reabilitações, obrigando-os, com raras excepções, a cumprir todas as medidas que se revelarem técnica e economicamente viáveis. O Protocolo de Quioto também aponta no mesmo sentido, salientando a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e de reduzir o consumo energético dos edifícios e a emissão de gases poluentes que contribuem para o aquecimento global ou efeito de estufa.

O traçado está delineado, resta agora que o sector da construção em Portugal evolua e se adapte o mais rapidamente possível às novas exigências de maneira a fazer face aos problemas com que se defronta actualmente o meio ambiente.

4.1.2. REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE TÉRMICA PARA A ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U

A envolvente dos edifícios é a responsável pelas trocas de calor entre o ambiente interior e o ambiente exterior. É fundamental que os elementos que a compõem sejam projectados para minimizar essas trocas de forma a manter o ambiente interior dentro de certos limites de temperatura considerados confortáveis, sem ter que se recorrer a equipamentos de climatização para obter esse conforto.

Um dos parâmetros fundamentais para o qual o RCCTE impõe limites que têm de ser respeitados, é o coeficiente de transmissão térmica, U, que varia consoante o elemento da envolvente e a zona climática que estamos a considerar. Os dois quadros seguintes indicam respectivamente os coeficientes máximos e de referência presentes no regulamento:

Quadro 4.1 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos [3]

Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (U - W/m ² .°C)			
Elemento da envolvente	Zona climática		
	I1	I2	I3
Elementos exteriores em zona corrente: zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45

Quadro 4.2 – Coeficientes de transmissão térmica de referência [3]

Coeficientes de transmissão térmica de referência (U - W/m ² .°C)				
Elemento da envolvente	Zona climática			
	I1	I2	I3	Regiões autónomas
Elementos exteriores em zona corrente: zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40

4.2 DESCRIÇÃO DOS CASOS EM ESTUDO

4.2.1. O CENTRO HISTÓRICO DO PORTO

O centro histórico do Porto apresenta uma riqueza cultural muito vasta sendo motivo de apreciação turística e de grande orgulho para a cidade. Esta área mais antiga da cidade foi classificada como Património Cultural da Humanidade em 1996 tendo o seu tecido urbano origens medievais. São muitos os motivos de atracção mas talvez o que mais identifica esta zona é a sua forte identidade e carácter e a sua qualidade estética.



Fig.4.2 – Vela característica da zona ribeirinha do Porto

Alvo de diversas intervenções urbanas ao longo dos tempos, espontâneas ou planeadas, em vielas tortuosas da Idade Média bem adaptadas à topografia, a ruas e praças da Renascença, a cidade é composta por um conjunto de monumentos e edifícios representativos do românico, gótico, maneirismo, neoclássico e arte nova. Esta diversidade de estilos e técnicas construtivas impõe um verdadeiro desafio quando chega a hora da reabilitação.

4.2.2. SOLUÇÃO CONSTRUTIVA BASE

Foram escolhidos alguns casos representativos cujos edifícios necessitam de reabilitação, aos quais serão apresentadas as diferentes soluções reabilitativas, devidamente exemplificadas e ilustradas. Como ponto de partida para este estudo genérico, ter-se-á em conta que a grande maioria das construções nesta zona da cidade tem como alicerces para as paredes exteriores a alvenaria de granito.

Para se obter a resistência necessária, antigamente estas paredes eram construídas com espessuras elevadas, chegando a valores da ordem do metro na base de grandes edifícios. No entanto como a larga maioria dos edifícios são constituídos por um a três andares, será considerada uma espessura de 40 cm para a alvenaria de granito. Os acabamentos mais comuns nas alvenarias antigas são a caição (facilmente solúveis) e o azulejamento (mais duráveis). Em geral, os rebocos das paredes exteriores antigas apresentam espessuras elevadas, podendo nalguns casos chegar aos 5 cm.

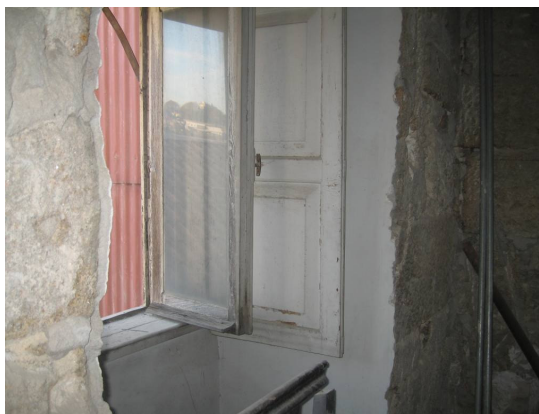


Fig.4.3 – Pormenor de uma alvenaria de granito com cerca de 50 cm de espessura

Termicamente estas paredes não apresentam qualquer tipo de inércia térmica, facilmente se verificando que à luz do novo RCCTE, estas necessitam de uma solução de reabilitação, dotando assim estes elementos de isolamento térmico de forma a garantir o cumprimento dos coeficientes de transmissão térmica máximos para o Porto, ou seja, zona I2.

Quadro 4.3 – Coeficiente de transmissão térmica da solução base

U solução base	
Alvenaria de granito	
Revestimento exterior em reboco tradicional	
Alvenaria de granito	U = 2,85 W/(m ² ·°C)
Reboco interior corrente	

Tal como indicado, o coeficiente de transmissão térmica da solução base, 2.85 W/(m²·°C), situa-se ainda longe do máximo permitido para as zonas I2, ou seja, 1.60 W/(m²·°C) e ainda mais longe dos valores de referência, 0.60 W/(m²·°C). As soluções apresentadas de seguida pretendem dotar estas fachadas de elementos isolantes permitindo assim que os seus coeficientes de transmissão térmica se situem dentro dos valores regulamentares.

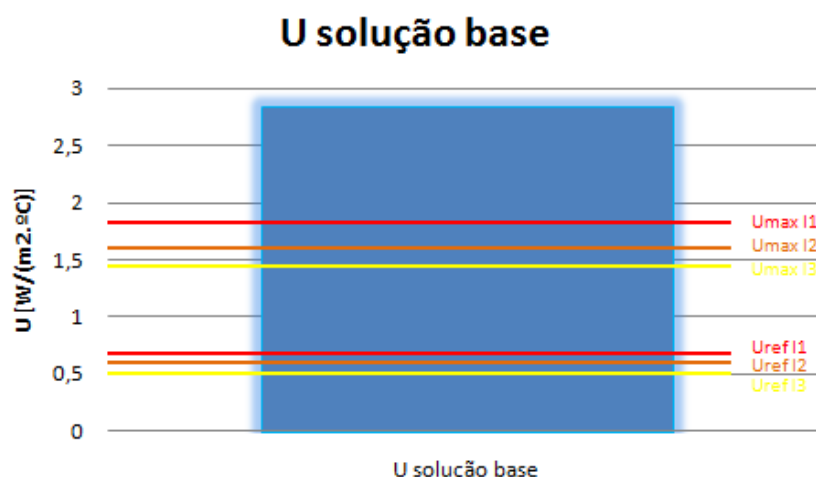


Fig.4.4 – Incumprimento do RCCTE da solução base em todas as zonas do País

4.3 APRESENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

4.3.1. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR

4.3.1.1. Vantagens e desvantagens

Esta solução de reabilitação é bastante utilizada em situações nas quais se torna impossível a alteração da fachada, quer seja por motivos estéticos ou arquitecturais, quer seja por motivos de exequibilidade devido aos pontos singulares. Por outro lado, se se pretender uma reabilitação de um edifício unicamente do ponto de vista térmico, encontrando-se a fachada do lado exterior em boas condições, isto é, se ainda cumprir os requisitos inicialmente previstos, então a solução de reabilitação do interior pode ser a adequada.

Uma opção desta natureza acarreta naturalmente alguns inconvenientes e algumas vantagens. Dentro dos inconvenientes podemos salientar: na fase de reabilitação, o facto de os moradores serem afectados com as obras pois estas irão decorrer no interior da habitação; após as obras de reabilitação, o espaço útil interior ficará diminuído, sobrando menor área pelo que nesse aspecto o edifício ficará desvalorizado. As grandes desvantagens desta técnica em relação à reabilitação pelo exterior são as seguintes:

- a nível térmico estamos a aumentar o coeficiente de transmissão térmica da parede mas não estamos a aumentar a sua inércia térmica, uma vez que a massa da parede fica do lado de fora do isolamento, sendo por isso em termos de inércia térmica uma fraca solução. Na prática isto significa que para aquecer uma divisão isolada pelo interior será necessário pouco tempo, no entanto esta também arrefecerá rapidamente;
- uma boa solução de isolamento térmico deseja-se contínua de maneira a não apresentar superfícies expostas a grandes variações térmicas, as chamadas pontes térmicas. Ao isolarmos pelo interior torna-se impossível obter essa continuidade pois apenas será possível isolar a parte interior da parede, do chão ao tecto de cada piso, ficando a laje “desprotegida”, formando pontos propícios a condensações. Este problema pode ser minimizado colocando tectos falsos com isolamento nos compartimentos principais. As ligações com os vãos e as caixas de estore também são difíceis de se efectuar correctamente podendo por isso formar pontes térmicas.

De salientar que ao adoptarmos esta solução, estamos a manter a parede sujeita a um diferencial térmico elevado, pelo que se esta já apresentava problemas de fissurações, empolamentos, descolamentos ou outro tipo de patologias associadas às variações de temperatura, com as consequentes dilatações e retracções dos materiais, o facto de se aplicar o isolamento pelo interior não vai impedir que estes fenómenos se voltem a repetir.

Por outro lado, existem vantagens que colocam a reabilitação pelo interior com uma opção preferencial em certos casos. A colocação do isolamento na face interior da parede permite preservar o aspecto exterior da fachada com o seu aspecto original, o que em edifícios históricos ou arquitecturalmente ricos pode ser importante pois estes podem ter no exterior elementos culturais de relevo. Por exemplo, revestimentos exteriores em azulejos com valor histórico ou edifícios cujas ombreiras e padieiras de janelas e varandas possuam ornamentos em pedra são situações que recomendam reabilitações térmicas pelo interior.



Fig.4.5 – Situações onde é aconselhada a reabilitação pelo interior

Também importante é o custo de investimento inicial, que nesta opção é claramente inferior (cerca de metade nalguns casos) em relação à solução de reabilitação pelo exterior, tornando-se assim uma via mais fácil para quem tem orçamentos mais apertados. A reabilitação interior apresenta ainda outras vantagens como sejam o facto de as obras não ficarem expostas aos agentes atmosféricos e em futuras obras de reabilitação torna-se mais prático e fácil proceder a alterações e a reparações em isolantes e revestimentos se estes se situarem no interior ao invés de se situarem no exterior.



Fig.4.6 – Edifícios com varandas e pedra trabalhada no exterior aconselham a reabilitação pelo interior

4.3.1.2. Tipos de reabilitação pelo interior

A reabilitação de edifícios pelo interior consiste em isolar termicamente a envolvente exterior tendo o cuidado de tratar os pontos singulares de maneira a minimizar as pontes térmicas. Geralmente o isolamento é colado directamente ao interior da parede aplicando-se um revestimento simples por pintura ou então é separado da parede por cerca de 2 a 3 cm de maneira a criar um espaço de ar sendo o isolamento colado ou fixo mecanicamente a um suporte. Este suporte é geralmente pré-fabricado e vai do pavimento ao tecto sendo o material mais corrente o gesso cartonado podendo no entanto colocar-se painéis de madeira ou mesmo alvenaria de tijolo com uma espessura reduzida.

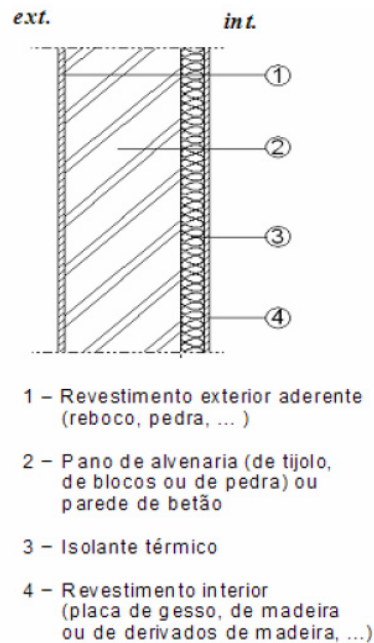


Fig.4.7 – Isolamento pelo interior com o isolamento colado à face interior da parede exterior [25]

Se por um lado ao colarmos o isolamento à parede estamos a garantir que será “roubado” menos espaço à área útil, por outro lado, ao colocarmos o isolamento separado por uma caixa-de-ar estamos a diminuir o coeficiente de transmissão térmica da parede, melhorando substancialmente o seu desempenho térmico (e acústico). Além disso torna-se mais prático pois esse espaço pode ser aproveitado para a colocação de cabos e condutas.

Existem algumas regras que devem ser cumpridas na aplicação do isolamento pelo interior, quer seja este colado à parede, quer seja espaçado. No caso de não ser espaçado, isto é, com a utilização de um revestimento aderido, para se poder aplicar o revestimento interior directamente sobre o isolamento térmico, deve este material [27]:

- dispor de uma boa resistência à passagem do vapor de água. É esta a única forma de se evitar a colocação de uma barreira pára-vapor que, a ser aplicada, deveria estar na face interior do isolamento, impedindo a posterior execução do acabamento;
- ter uma resistência à compressão adequada para suportar eventuais choques na superfície de acabamento;
- ter uma superfície que permita a boa aderência das massas de colagem das placas de isolamento ao suporte e das massas de reboco ou estuque ao isolamento.

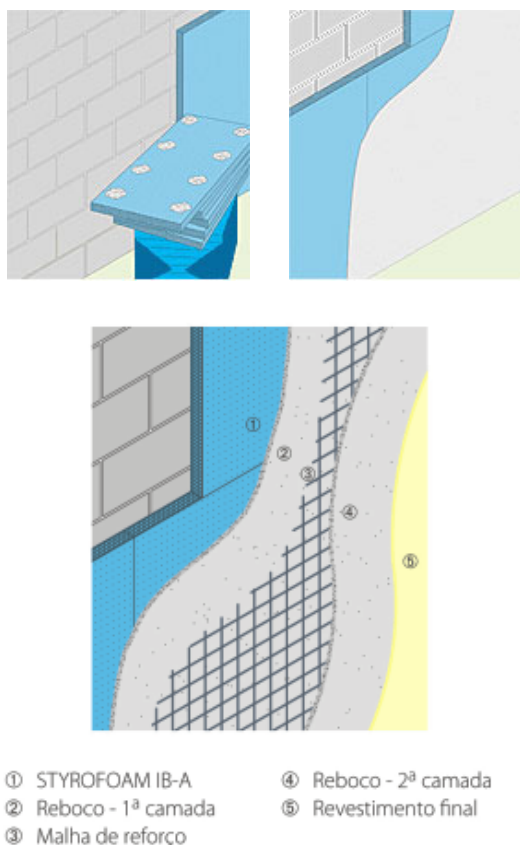


Fig.4.8 – Isolamento pelo interior com o isolamento colado à face interior da parede exterior – modo de aplicação [27]

No caso do isolamento ficar espaçado da parede, ou seja, do revestimento ser não-aderido, o material de isolamento térmico ficará ligado a um suporte, devendo por isso:

- ter resistência à compressão suficiente para que se possa fixar o acabamento com a devida eficácia, sem que se diminua a espessura da camada isolante que deve ser contínua;
- ter a rigidez e consistência suficientes para que não se verifiquem assentamentos por gravidade de modo a que a superfície de isolamento se mantenha uniforme e contínua ao longo dos anos

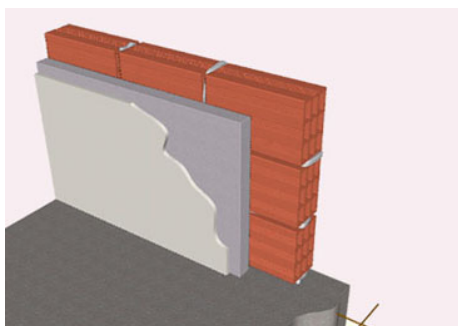


Fig.4.9 – Isolamento pelo interior em placas pré-fabricadas de gesso cartonado com EPS [26]

É comum encontrarem-se diversas soluções de suportes em gesso cartonado associadas a isolamentos em lã mineral mas estes produtos são mais aconselháveis para paredes divisórias uma vez que a lã mineral funciona como um bom isolante acústico e como isolantes térmicos existem no mercado soluções bastante mais eficientes. Outro problema da lã mineral prende-se com o seu factor de resistência à difusão do vapor de água, μ , que varia entre 0.76 e 1.9, valores demasiado baixos que são favoráveis às condensações. Além destas desvantagens, a lã mineral tem de ser bem aplicada de maneira a não ficar em contacto quer com a humidade, pois degrada-se facilmente quando humedecida, quer com o ar respirável pois é bastante nociva para os habitantes.

Nos casos em que se verifique que a solução de reabilitação pelo interior é a mais aconselhada mas o revestimento exterior se encontre degradado, pode-se retirar esse revestimento e simplesmente aplicar uma pintura armada.

4.3.1.3. Suportes do isolamento térmico

Como esta técnica vai ocupar espaço interior aos edifícios, convém perceber que dimensão terá o acrescento à parede exterior original, pois hoje em dia os edifícios são muito valorizados pela sua área útil habitável.

Os suportes mais comuns neste tipo de solução são as placas de gesso cartonado, os painéis de madeira e as alvenarias de tijolo. Naturalmente que as placas de gesso cartonado e os painéis de madeira terão menor espessura e que na maior parte dos casos servirão perfeitamente para o objectivo pretendido, que é servir de suporte ao isolamento, mas como se poderá verificar no capítulo 5, as alvenarias de tijolo garantem uma maior resistência à difusão do vapor de água pelo que são uma melhor escolha para prevenir condensações.

As placas de gesso cartonado são essencialmente constituídas a partir de gesso, água e alguns aditivos. Esta pasta húmida é despejada sobre papel, recebendo uma nova camada na superfície superior. Assim é fabricada uma espécie de sanduíche de papel e gesso que, após secada é cortada numa grande variedade de formatos. O gesso cartonado está também disponível em diversas espessuras e, conforme os aditivos que recebe, pode destinar-se a locais diferentes numa construção, tal como ambientes húmidos ou onde se necessita de adicional resistência ao fogo [28]. A sua superfície porosa, a par de uma significativa elasticidade, confere-lhe propriedades isolantes a nível acústico. O aspecto térmico sobressai igualmente pela sua capacidade de retenção de calor, evitando gastos energéticos, e proporcionando simultaneamente uma absorção do excesso de humidade, devolvendo-a ao ambiente quando este se encontrar mais seco [29]. A manutenção das placas de gesso cartonado é executada com facilidade pois no caso deste se estragar num local específico, facilmente se substitui a placa danificada por outra sem custos elevados para o utilizador.

A montagem destes elementos é simples, com a obra limpa e seca, sendo as placas de gesso colocadas aparafusadas a perfis metálicos leves. Posteriormente as placas podem receber diversos acabamentos sendo o mais corrente a pintura.

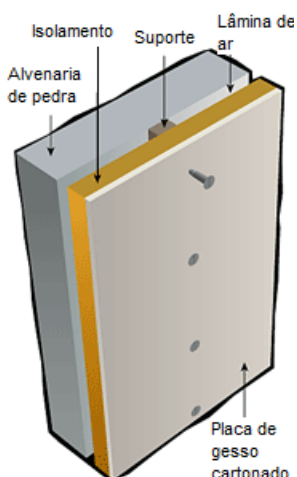


Fig.4.10 – Isolamento pelo interior em placas pré-fabricadas de gesso cartonado [39]

As espessuras podem variar consoante o fabricante existindo no mercado diversos produtos que são vendidos juntamente com o isolamento térmico, sendo direccionados para áreas específicas como a térmica, a acústica, a resistência ao choque, etc. As figuras seguintes ilustram as espessuras mais comuns existentes no mercado e os seus preços por m^2 assim como as suas características técnicas mais importantes.

Ficha Técnica				
Espessura	9,5 mm		12,5 mm	
Peso (kg/m²)	6,5 a 8,5 kg/m²		8 a 12 kg/m²	
Largura	600 ou 1.200 mm			
Comprimento	de 1.800 a 3.600 mm			
Densidade	6,5 kg/m² = 685 kg/m³ 8,5 kg/m² = 895 kg/m³		8 kg/m² = 640 kg/m³ 12 kg/m² = 960 kg/m³	
Coefficiente de condutividade térmica (gama)	0,16 kcal/h.m².°C			
Índice de propagação superficial de chama	Classe II A			
Tipo de Borda	BQ (quadrada) BR (rebaixada)			
Rebaixo A borda rebaixada deve estar situada na face da frente da chapa e sua largura e profundidade devem ser medidas de acordo com a NBR 14716.	Largura	Mínimo		40 mm
		Máximo		80 mm
	Profundidade	Mínimo		0,6 mm
		Máximo		2,5 mm
	Densidade superficial da massa (kg/m²)	Espessura da chapa (mm)		
		9,5	12,5	15,0
Mínimo		6,5	8,0	10,0
Máximo		8,5	12,0	14,0
Variação máxima em relação à média das amostras de um lote		± 0,5		
Resistência mínima à ruptura na flexão (N)	Longitudinal ⁽¹⁾	400	550	650
	Transversal ⁽²⁾	160	210	250
Dureza superficial determinada pelo diâmetro máximo (mm)	20			

Fig.4.11 – Ficha técnica de placas de gesso cartonado standard [32]

Dimensiones	Embalaje		P.V.P.
9,5 mm	48		5,47 €/m ²
12,5 mm	36		5,76 €/m ²
15 mm	28		6,62 €/m ²
18 mm	24		8,98 €/m ²

Fig.4.12 – Preços/m² de placas de gesso cartonado standard [33]

Outro tipo de suporte para este tipo que solução, embora não tão corrente como o anterior, são os painéis de madeira sendo os mais correntemente utilizados designados por MDF (Medium Density Fibreboard), aglomerados ou OSB (Oriented Strand Board).

As placas de MDF são elaboradas através de um processo de prensagem a altas temperaturas e pressões de um composto de fibras de madeira, resinas e outros aditivos podendo ser produzidas em várias espessuras. O MDF possui boa consistência e algumas características mecânicas que o aproximam da madeira maciça. A maioria dos seus parâmetros físicos de resistência é superior aos da madeira aglomerada.

O aglomerado de madeira é provavelmente o mais comum produto derivado da madeira sendo muito versátil no que respeita à sua utilização. A sua constituição é composta por partículas de diversas madeiras, podendo mesmo ser usado desperdícios de serração, ligadas entre si por meio de resinas sintéticas, água e aditivos químicos sendo revestida nas faces por papéis melamínicos. Os diversos tipos de aglomerado disponíveis garantem um comportamento equilibrado, tanto em condições secas como quando existe risco de humidade ou eventuais exigências de resistência ao fogo.



Fig.4.13 – Painéis de aglomerado de madeira [37]

O OSB é um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão. Este tipo de painel é tipicamente formado por três camadas, sendo nas externas as partículas de madeira orientadas paralelamente na direcção de formação do painel enquanto que na interna, a orientação é perpendicular [35]. A qualidade da matéria-prima, da colagem e dos processos de secagem, dá origem a um painel rígido com elevada resistência e estabilidade dimensional. Os painéis podem ser fornecidos com diversos tipos de tratamento, dependendo este da aplicação dos painéis, em ambiente exterior ou interior [34]. Os acabamentos deste tipo de materiais podem ser em verniz, pinturas em geral ou revestimentos com papéis decorativos, lâminas de madeira ou PVC.



Fig.4.14 – Processo de montagem do MDF em suporte metálico [36]

A figura seguinte ilustra os preços por m^2 dos painéis de MDF de um fabricante nacional e embora sejam valores meramente indicativos do que é possível encontrar no mercado, em comparação com os preços das placas de gesso cartonado, verifica-se que recorrendo à madeira fica ligeiramente mais caro embora o desempenho térmico também seja um pouco superior.

ESPESSURA	STANDARD (NORMAL)	HIDROFUGO (MR)
2,5 mm	2,58 €	
3 mm	3,01 €	
4 mm	3,77 €	
5 mm	4,52 €	
6 mm	5,20 €	6,51 €
7 mm	5,77 €	
8 mm	6,32 €	7,90 €
10 mm	7,35 €	9,22 €
12 mm	8,43 €	10,58 €
15 mm	10,15 €	
16 mm	10,78 €	13,53 €
18 mm	12,17 €	
19 mm	12,81 €	16,26 €
22 mm	14,87 €	
25 mm	17,02 €	
28 mm	18,99 €	25,59 €
30 mm	20,38 €	
35 mm	26,77 €	

Preço unitário sujeito a Iva.

Fig.4.15 – Preços/ m^2 de painéis de MDF [38]

A solução porventura mais conservativa do ponto de vista higrotérmico, acústico e de resistência seria a construção de uma fina parede de alvenaria que segurasse o isolamento térmico por colagem. O recurso a tijolo furado garantiria uma maior resistência a trocas térmicas entre o ambiente interior e o exterior embora isso fosse à custa de maior espessura em relação aos outros suportes aqui referidos. Como se poderá verificar no capítulo seguinte, esta será também a melhor solução do ponto de vista das condensações, pois será a que apresenta maior resistência à difusão do vapor de água evitando a colocação de uma barreira pára-vapor.

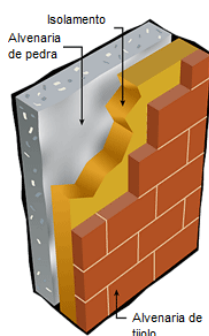


Fig.4.16 – Isolamento pelo interior com suporte do isolamento em alvenaria de tijolo [39]

Como o objectivo é unicamente suportar o isolamento térmico e permitir a colocação de um revestimento na face interior, sem comprometer em demasia o espaço interior, a opção pela espessura mínima economicamente viável é preferencial. Nesse sentido poder-se-ia optar por uma alvenaria de tijolo furado com espessura de 3 cm que garante uma resistência térmica de $0,07 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$, valor superior às opções de gesso cartonado e de painéis de madeira.

Quadro 4.4 – Espessuras e resistências térmicas da alvenaria de tijolo [4]

Resistência térmica da alvenaria de tijolo - R $[(\text{m}^2\cdot\text{°C)/W}]$						
Tipo de elemento		Espessura da alvenaria [m]				
		0,03	0,04	0,07	0,09	0,10 - 0,11
Tijolo cerâmico	Furado	0,07	0,1	0,19	0,23	0,27
	Maciço	-	-	0,08	-	0,13

4.3.1.4. Cumprimento do RCCTE

Embora a alvenaria de granito seja uma solução essencialmente presente na zona histórica do Porto, serão apresentados os resultados para todas as zonas do País, de maneira a ilustrar as zonas onde as diferentes soluções de reabilitação podem ser adoptadas.

Quadro 4.5 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em gesso cartonado

U solução com isolamento pelo interior	Alvenaria de granito com isolamento pelo interior – suporte em gesso cartonado
Revestimento exterior em reboco tradicional	U = 0,72 W/(m²·°C)
Alvenaria de granito	
Reboco interior corrente	
Caixa-de-ar não ventilada	
Poliestireno expandido extrudido	
Placa de gesso cartonado	

Quadro 4.6 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em painéis de madeira

U solução com isolamento pelo interior Alvenaria de granito com isolamento pelo interior – suporte em painéis de madeira	
Revestimento exterior em reboco tradicional	U = 0,70 W/(m ² ·°C)
Alvenaria de granito	
Reboco interior corrente	
Caixa-de-ar não ventilada	
Poliestireno expandido extrudido	
Painéis de madeira	

Quadro 4.7 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com isolamento pelo interior – suporte em alvenaria de tijolo

U solução com isolamento pelo interior Alvenaria de granito com isolamento pelo interior – suporte alvenaria de tijolo de 3 cm	
Revestimento exterior em reboco tradicional	U = 0,71 W/(m ² ·°C)
Alvenaria de granito	
Reboco interior corrente	
Caixa-de-ar não ventilada	
Poliestireno expandido extrudido	
Alvenaria de tijolo de 3 cm	

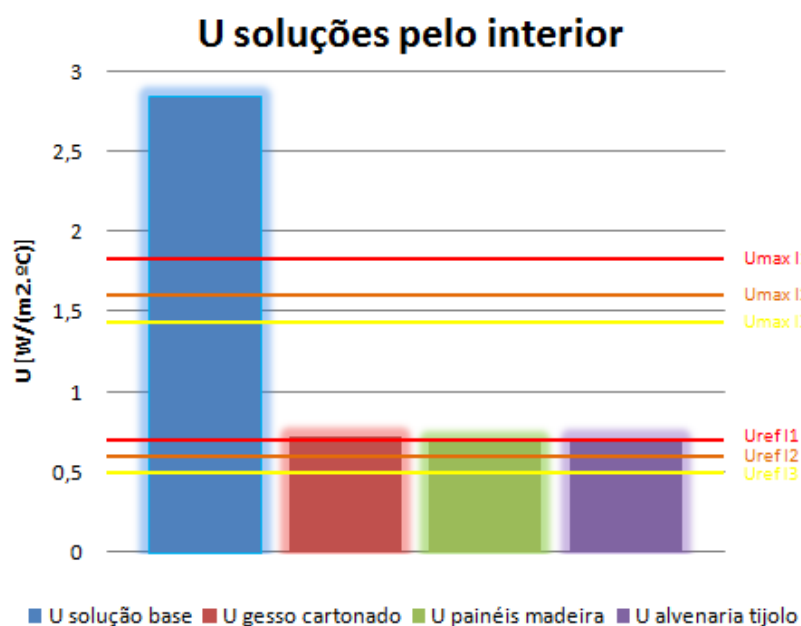


Fig.4.17 – Coeficientes de transmissão térmica das soluções de reabilitação pelo interior

Como se pode verificar, todas as soluções apresentadas para reabilitação colocando o isolamento térmico pelo interior apresentam um coeficiente de transmissão térmica, U , de cerca de $0,70 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, valor muito abaixo do $U_{máximo}$ das três zonas climáticas de Portugal mas ainda assim superior ao $U_{referência}$ das zonas I2 e I3 e igual ao da zona I1. Para garantir que qualquer uma destas soluções cumpria o regulamento ficando abaixo do $U_{referência}$ para qualquer zona do país, bastaria intervir na espessura do isolamento térmico, aumentando-a. Assim, se para a espessura do isolamento térmico, no caso o XPS, se optasse por 6 cm, já conseguiríamos uma resistência térmica de $2,20 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$ e um coeficiente de transmissão térmica de $0,45 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

É importante ainda ressaltar o papel fundamental da caixa-de-ar não ventilada no desempenho térmico e higrotérmico desta solução de reabilitação. Da sua importância na prevenção das condensações far-se-á referência no Capítulo 5. A nível térmico facilmente se comprova que caso esta caixa-de-ar não existisse, isto é, se o isolamento fosse colado à alvenaria de granito, por um lado não seria necessário o suporte perdendo-se por isso a sua resistência térmica e por outro não poderíamos contar com a resistência térmica daquela espessura de ar. Traduzindo estas alterações para números, o coeficiente de transmissão térmica passaria para $0.80 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ sem a caixa-de-ar e para $0.85 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ sem a resistência térmica do suporte, isto mantendo os 3 cm de espessura do isolamento. Resumindo, a caixa-de-ar garante a nível térmico cerca de $0.10 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ pelo que é plenamente aconselhável a sua colocação, isto apesar da diminuição do espaço interior associada.

4.3.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR - ETICS

4.3.2.1. Vantagens e desvantagens

O sistema ETICS encontra-se hoje bastante difundido em Portugal sendo correntemente aplicado não só em reabilitações mas também em construções novas. Para reabilitações este método é actualmente considerado o mais eficiente por eliminar as pontes térmicas, causadoras de inúmeras patologias

adequando-se também para edifícios com insuficiente isolamento térmico, infiltrações ou aspecto exterior degradado.

Quando aplicado à reabilitação, a preferência por este sistema em detrimento de outros entende-se quando se consideram as suas vantagens, destacando-se entre outras o facto de a inércia térmica ser elevada uma vez que a massa das paredes se encontra do lado interior do isolamento térmico, a melhoria da impermeabilidade das paredes, a possibilidade de mutação do aspecto da fachada e sua colocação sem incomodar os habitantes da habitação e a grande variedade de acabamentos possíveis para esta solução [8]. A aplicação do ETICS é relativamente simples pois apenas exige que a camada inicial onde se vai aplicar a camada de base se encontre limpa e regularizada, sendo que por vezes pode ser necessário proceder à remoção do actual revestimento. A existência de saliências nas fachadas, como varandas e peitoris, dificulta a aplicação do ETICS, pois é precisamente no remate com estes elementos que é preciso ter mais cuidado de maneira a que estes não constituam pontos singulares.

O sistema de reabilitação pelo exterior com ETICS é então especialmente recomendado a edifícios cujo revestimento da fachada necessite de ser substituído e que não possuam fachadas com ornamentos e saliências que dificultem a aplicação do ETICS.



Fig.4.18 – Edifícios cujas fachadas poderiam ser reabilitadas com ETICS

No entanto existem algumas desvantagens que impedem este sistema de ser ainda mais utilizado na construção. A principal é sem dúvida a fraca resistência ao punçoamento do revestimento exterior, situação que se pode revelar bastante desagradável e onerosa pois uma simples pancada acidental ou por vandalismo pode danificar o reboco obrigando à sua remoção e posterior colocação de novo reboco.



Fig.4.19 – Degradação do ETICS na zona de choque [7]

Outra fragilidade do sistema revela-se na sua susceptibilidade a alguns agentes químicos, principalmente a acetona, que causam a rápida degradação do sistema. Frequentemente também se verificam patologias em edifícios com ETICS como descolamento ou manchas no revestimento resultando estas de deficientes condições atmosféricas aquando a aplicação do sistema ou resultantes de aplicação sobre suportes encharcados ou insuficientemente secos.

O facto de ser uma técnica que actua pelo exterior da fachada pressupõe, como é óbvio, que as obras decorram no exterior, ou seja, expostas aos agentes atmosféricos, o que como já foi referido, pode prejudicar o decorrer das mesmas e afectar alguns materiais e o tempo de actuação.

Sem ser considerada uma técnica de reabilitação cara, a aplicação do sistema ETICS revela-se mais onerosa que a actuação pelo interior das fachadas, no entanto, devido às vantagens enumeradas este custo pode diluir-se mais tarde nos benefícios decorrentes da adopção deste sistema. Naturalmente o preço dependerá sempre da maior ou menor dificuldade de aplicação do sistema, em particular devido à existência de um maior ou menor número de obstáculos nas fachadas, como socos, cornijas, etc, e também da espessura do isolamento adoptada.

4.3.2.2. Regras e cuidados a ter na aplicação do ETICS

A principal vantagem do isolamento pelo exterior com base no sistema ETICS reside na continuidade do isolante pelo exterior. Para que tal se verifique é necessário bastante cuidado nos remates de zonas delicadas, nomeadamente na zona dos vãos, na ligação da fachada com a cobertura e com o pavimento, nas platibandas, nas palas, nas cimalthas, em varandas e janelas, desenhos que devem ser devidamente pormenorizados na fase de projecto.

Antes do início da aplicação do sistema o revestimento deverá ser retirado em toda a superfície da parede por decapagem sendo depois necessário verificar se o suporte se encontra sem fissuras e se não apresenta irregularidades. Como as obras serão expostas aos agentes atmosféricos, deverá ter-se cuidado aquando a colagem das placas do isolamento devendo evitar-se períodos de chuva, temperaturas inferiores a 5 °C e superfícies expostas ao sol no verão ou sujeitas a vento forte. Deverá respeitar-se o tempo de secagem do suporte se este se verificar bastante húmido pois poderá levar a patologias mais tarde como descolamento e manchas no reboco.

A colocação das placas de isolamento térmico é geralmente feita por colagem no entanto é possível complementar com cavilhas conferindo assim um reforço à fixação, em particular nas zonas com ventos fortes ou sujeitas a actas de vandalismo. Esta prática permite também que a obra avance sem ter de esperar pela secagem da cola.

Na ligação com elementos de fachada, deve existir uma folga de 5 mm entre o sistema e as caixilharias, os peitoris e outras saliências da fachada.

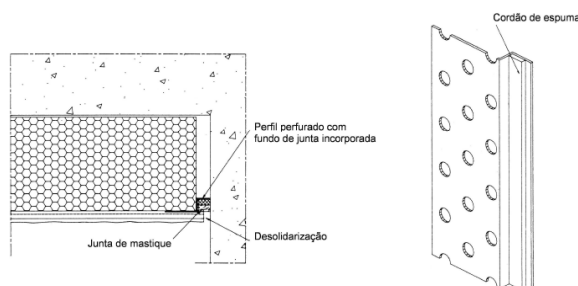


Fig.4.20 – Ligação do sistema com elementos da fachada [7]

As arestas verticais, principalmente os cantos e esquinas, são locais propícios a choques e pancadas inadvertidas degradando-se por isso muito facilmente pelo que devem ser protegidas com cantoneiras e outros elementos metálicos.

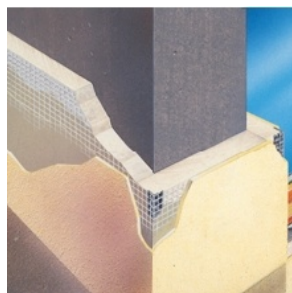


Fig.4.21 – Reforço das esquinas com elementos metálicos [31]

No contorno dos vãos deve também ser aplicado um reforço da armadura assim como nas zonas junto ao pavimento, até uma altura onde seja possível uma pessoa chegar de maneira a minimizar a degradação por choque. Relativamente a estas zonas deve respeitar-se a seguinte regra:

- em fachadas não acessíveis pode aplicar-se a armadura normal;
- em fachadas acessíveis pouco expostas a choques deve aplicar-se duas camadas de redes de armadura normal sobrepostas;
- em fachadas acessíveis muito expostas a choques deve-se ponderar a aplicação deste sistema e estudar bem as alternativas possíveis.

Geralmente os fabricantes recomendam que em zonas de parede até aos 3 m acima do solo se reforce o sistema com uma rede em fibra alcali-resistente dupla composta por uma camada de armadura normal mais uma camada de armadura reforçada, dos 3 m aos 6 m, duas camadas de armadura normal e para alturas superiores uma só camada de armadura normal é suficiente.

Uma solução possível para aumentar a resistência ao choque da base da fachada consiste em colocar sobre o sistema um revestimento em pedra, de preferência natural e em consonância com a envolvente. Como alternativa poderia isolar-se pelo interior no piso térreo ficando a alvenaria em pedra à vista pelo exterior e isolar com ETICS do primeiro piso para cima.



Fig.4.22 – Habitação isolada com ETICS sendo a parte da fachada acessível revestida em pedra



Fig.4.23 – Habitação isolada com ETICS apenas a um nível superior ao térreo

Uma situação que deverá ser convenientemente antecipada é quando a parede exterior sofre de humidades ascensionais, ao colocar-se um revestimento exterior impermeável está-se a impedir a parede de libertar essa humidade para o ambiente exterior por secagem. Este fenómeno levará a que surjam manchas na face interior da parede resultantes da subida da água por capilaridade podendo também verificar-se uma degradação do isolamento térmico e de outros materiais constituintes do sistema ETICS. Nestes casos terá de se estudar alternativas à colocação desses revestimentos impermeáveis ou então procurar uma solução que evite o contacto da parede com a água ou que impeça a subida desta na parede.

4.3.2.3. Cumprimento do RCCTE

Como se pode verificar facilmente, o sistema ETICS com esta espessura de isolamento cumpre na totalidade o regulamento, ficando no entanto o coeficiente de transmissão térmica superior aos valores de referência para todas as zonas climáticas.

Quadro 4.8 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da solução em ETICS

U solução com ETICS	
Alvenaria de granito com ETICS	
Revestimento exterior em reboco tradicional	U = 0,87 W/(m ² .°C)
Poliestireno expandido extrudido	
Argamassa de reboco tradicional	
Alvenaria de granito	
Reboco interior corrente	

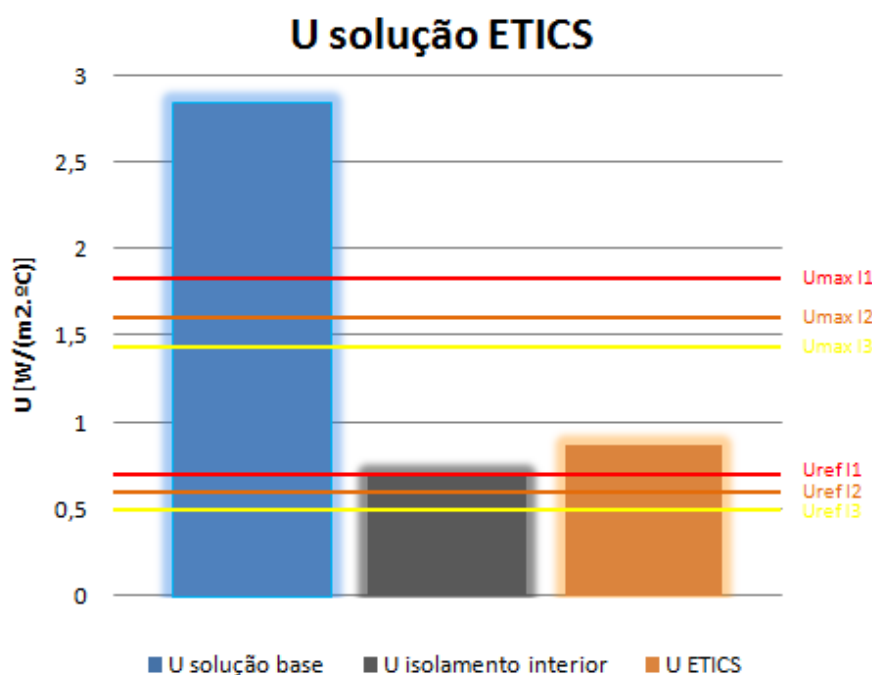


Fig.4.24 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com ETICS

Comparando a solução de reabilitação pelo interior com o sistema ETICS verifica-se que para a mesma espessura de isolamento, o U_{ETICS} , revela-se superior podendo isto indicar que esta é uma solução inferior no entanto esta solução apresenta benefícios em relação ao isolamento pelo interior que podem compensar esta diferença, sendo a principal o facto de que isolando pelo exterior conseguimos eliminar as pontes térmicas pois o isolamento fica aplicado de forma contínua.

De maneira a que esta solução cumpra o valor do coeficiente de transmissão térmica de $0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, o valor da zona climática I1, ou seja, para que possa ser aplicada em qualquer zona do país tendo a certeza que fica abaixo dos valores de referência, teremos que aumentar a espessura do isolamento térmico. Aplicando um isolamento com espessura de 6 cm obtemos um U de $0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ o que corresponde ao U_{ref} para a zona I1, cumprindo assim o valor de referência de qualquer zona do país.

4.3.3. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR – FACHADA VENTILADA

4.3.3.1. Vantagens e desvantagens

A fachada ventilada pode ser definida como um sistema de protecção e revestimento exterior de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre a parede e o revestimento, criando assim uma lâmina de ar em movimento. O isolamento térmico, quando aplicado, situa-se geralmente na superfície exterior da parede.

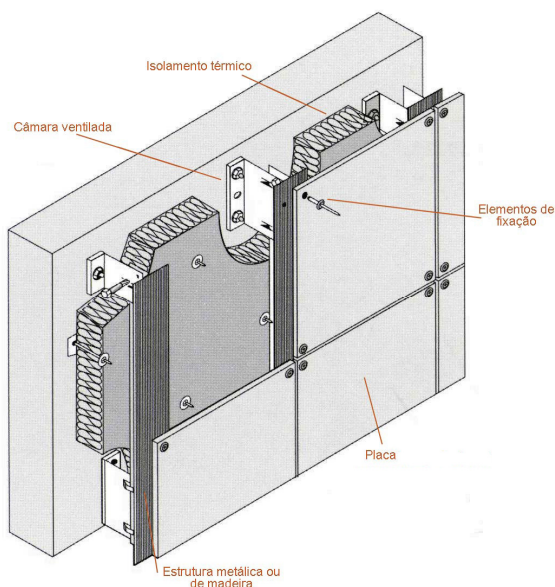


Fig.4.25 – Esquema da constituição de uma fachada ventilada [46]

Em termos de condicionantes de aplicação desta solução, de modo geral pode-se afirmar que estas são as mesmas referidas para o sistema ETICS, ou seja, a fachada ventilada pode ser aplicada na reabilitação de edifícios cujo exterior se encontre degradado, com problemas de estanquidade ou com insuficiente isolamento térmico. Além disso, podem diminuir o risco de ocorrência de condensações, tratando de certo modo as pontes térmicas. Este sistema constitui uma óptima solução, tanto do ponto de vista construtivo como do ponto de vista energético. A existência de saliências e ornamentos nas fachadas dificultam a aplicação deste sistema pois complicam em demasia o remate nestes pontos.



Fig.4.26 – Edifícios cuja técnica de reabilitação poderia passar pela fachada ventilada

As fachadas cujo revestimento exterior se encontre em bom estado ou que contenha um valor arquitectónico ou histórico importante devem ser preservadas não se recomendando por isso o isolamento pelo exterior uma vez que este iria obrigatoriamente tapar ou remover esse mesmo revestimento.

Esta solução de reabilitação pelo exterior apresenta as mesmas vantagens que o sistema de reabilitação ETICS, como a maximização do espaço interior e também da inércia térmica da parede, no entanto a existência do espaço de ar entre o exterior da parede e o revestimento conferem à fachada ventilada algumas características que a distinguem dos demais sistemas de isolamento pelo exterior. Esta lâmina de ar é a responsável pela ventilação natural contínua do exterior da parede do edifício, através do efeito de chaminé, ou seja, o ar frio entra por aberturas na base da fachada saindo quente pela parte superior. Este fenómeno dá-se devido à diferente densidade entre o interior e o exterior da mesma, gerando duas vantagens: de Inverno, mantendo a estrutura de suporte e o material de isolamento térmico seco, reduz-se os problemas de condensação; de Verão, a absorção e reflexo das radiações solares é retida na cavidade, não passando para o interior do edifício conseguindo-se um aumento do conforto térmico.

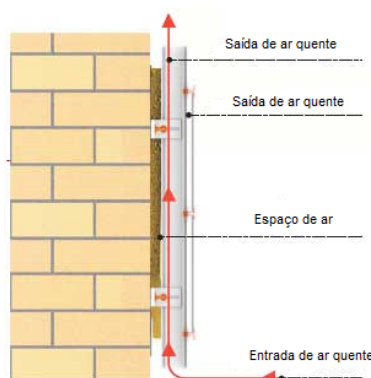


Fig.4.27 – Movimentação do ar numa fachada ventilada [40]

Por outro lado, ao separar-se o revestimento da parede, está-se automaticamente a admitir que este fica ligado a um suporte. Existem actualmente no mercado fabricantes que apresentam diversas soluções para este sistema, sendo por isso a fachada ventilada caracterizada por uma fácil montagem além de que se torna possível colocar as instalações eléctricas e sanitárias no espaço de ar criado entre a parede e o revestimento. A facilidade na colocação e remoção das peças do revestimento garantem assim uma fácil e rápida montagem e colocação do sistema assim como a substituição das peças. Isto permite não só a remoção e substituição de peças danificadas como também a lavagem das peças individualmente o que por si só já constitui uma grande vantagem em relação às fachadas rebocadas, pintadas ou com outro tipo de revestimentos fixos. Estes pormenores tornam esta solução como uma solução de manutenção simples e reduzida.



Fig.4.28 – Fachada ventilada com instalações sanitárias no espaço de ar [42]

As solicitações resultantes de agentes atmosféricos e de outros tipos serão aplicadas ao revestimento, protegendo este o isolamento térmico e também a parede, poupando-os, pelo que se pode afirmar que este é um sistema mais durável pois não só o elemento estrutural fica protegido desses agentes como também é possível substituir os elementos do revestimento danificados. A nível estrutural pode-se dizer que a probabilidade de ocorrerem fissurações derivado de dilatações térmicas é nula uma vez que é o revestimento a sofrer o impacto da radiação solar e este ao ser descontínuo previne esse risco sendo as tensões transferidas e absorvidas pela estrutura de suporte.

Esta é uma técnica particularmente adequada para reabilitações no sentido em que permite ganhos significativos não só a nível térmico, mas também a nível acústico e estético, uma vez que a gama de revestimentos aplicáveis é vasta e inclui a pedra natural e os cerâmicos, permitindo a renovação do aspecto da fachada.

Por fim, esta solução permite a colocação do isolamento térmico na superfície exterior da parede, no entanto o próprio espaço de ar já actua como uma espécie de isolamento térmico, permitindo poupar na espessura do mesmo.

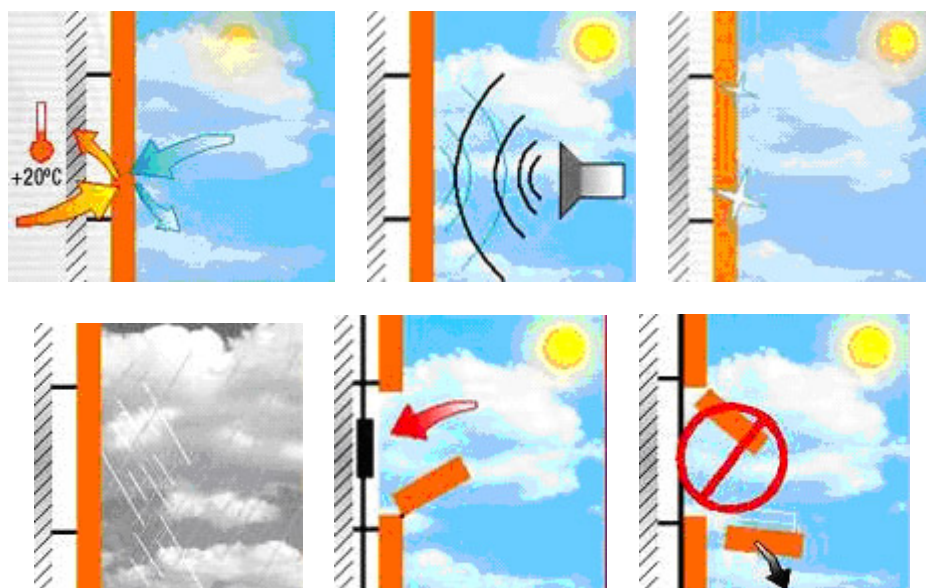


Fig.4.29 – Vantagens da fachada ventilada: protecção térmica, acústica, acabamento tratado, impermeabilidade, fácil substituição, segurança contra quedas [42]

Como desvantagens desta solução podemos salientar a dificuldade de execução de remates, cunhais e saliências e também o facto de ser relativamente fácil de se degradar por vandalismo. Outro problema que pode decorrer de não se seccionar a caixa-de-ar é que esta se pode tornar um meio propício para propagação do fogo entre pisos em caso de incêndio.

A fachada ventilada, derivado da sua configuração elimina a hipótese de ocorrência de condensações interiores, no entanto estas pode ocorrer na superfície exterior do revestimento formando manchas e bolores. Este fenómeno pode ser minimizado através da limpeza por lavagem das peças degradadas individualmente, uma vez que o sistema por ser descontínuo e de fácil montagem e desmontagem permite essa manutenção que a acontecer, não deverá ocorrer em períodos relativamente próximos.

Talvez a grande desvantagem desta solução acabe por ser o seu elevado custo, uma vez que os materiais utilizados são mais caros, principalmente os revestimentos pois estes são geralmente em pedra natural ou em cerâmica e também porque é o que requer mão de obra especializada para a montagem do sistema.

4.3.3.2. Características e regras fundamentais na sua aplicação

Existem algumas regras fundamentais na aplicação de solução em fachada ventilada entre as quais se destacam [43]:

- Ventilação exterior: câmara-de-ar deve ter no mínimo 20 mm para garantir a circulação do ar (no sentido inferior para o superior);
- Mecanismos que permitam a dilatação do revestimentos e os movimentos estruturais;
- Não ultrapassar as distâncias de fixação recomendadas pelo fabricante das mesmas.

Deverá naturalmente também ter-se em conta o ambiente a que os materiais estarão expostos, devendo protegê-los adequadamente de modo a evitar a corrosão, apodrecimento e outras patologias.

O isolamento não necessita de ser hidrófugo pois irá estar protegido da água e da humidade graças ao revestimento e à lâmina de ar respectivamente.

O sistema de suporte é geralmente composto por perfis metálicos por serem mais resistentes e mais duráveis, mas existem também suportes em prumos verticais de madeira. É através da estrutura composta por estes materiais que se consegue o afastamento necessário para se criar a caixa-de-ar. Os impactos aplicados sobre o revestimento são absorvidos pela flecha do suporte conferindo assim ao sistema uma maior resistência mecânica.

Relativamente ao tipo de fixação que é possível utilizar para as peças do revestimento temos três opções [10]:

- **Fixação à vista para peças de espessura fina** - os tipos de encaixe para fixar o painel à perfilaria são visíveis pelo exterior. Normalmente utilizam-se grampos de aço inoxidável que seguram o painel unindo-o ao perfil metálico, lacados da mesma cor que o próprio revestimento, com o objectivo de reduzir o impacto visual e estético. O revestimento pode ser em peças de cerâmica, pedra natural delgada, laminada, placas de alumínio, etc.;



Fig.4.30 – Fixação para revestimento de espessura fina [42], [10]

- **Fixação oculta para revestimentos de grande espessura** – para peças com espessuras superiores a 20 mm, fixa-se a peça sobre margem superior e inferior, para que os perfis horizontais a possam acomodar sendo também fixados ao resto da estrutura dos perfis verticais mediante grampos de aço. Geralmente para este tipo de fixação utilizam-se revestimentos em pedra natural, peças de fibrocimento, painéis cerâmicos, elementos de grande calibre, etc.;

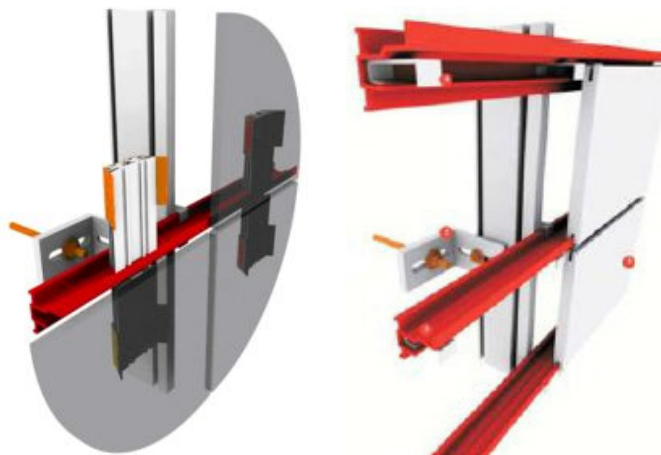


Fig.4.31 – Fixação para revestimento de grande espessura [42], [10]

- **Sistema sobreposto** - consegue-se uma sobreposição dos painéis, mediante a disposição de peças, formando escamas levemente sobrepostas. É a forma perfeita de garantir a estanquidade das juntas. Com este tipo de fixação é possível utilizar peças cerâmicas, peças de pedra natural delgada, laminadas, placas de alumínio, etc.



Fig.4.32 – Fixação para revestimento sobreposto [42], [10]

Apesar de ser menos corrente, existe um outro tipo de fixação oculta de placas finas. Esta fixação consiste em encaixes de fixação da peça de revestimento não visíveis, devendo-se ao facto de serem feitas no dorso da peça rasgos que permitem a colocação de elementos de aço inoxidável que se aparafusam a um perfil de alumínio, que por sua vez fica fixado através de grampos de pressão ao perfil horizontal. É geralmente fabricado para peças cerâmicas mas é possível aplicar-se com outro tipo de peças.



Fig.4.33 – Fixação oculta para revestimento de espessura fina [10]

A montagem deste tipo das fachadas ventiladas requer mão-de-obra especializada dado ser um sistema de elevado grau de industrialização. A sua execução obedece à seguinte ordem [45]:

- Execução da estrutura vertical, fixada à estrutura ou parede da edificação através de chumbadores ou outro tipo de fixadores;
- Execução do isolante térmico;
- Execução da estrutura horizontal;
- Colocação das placas.



Fig.4.34 – Sequência de montagem da fachada ventilada [45]

Um pormenor que se deve ter em atenção são as juntas entre as placas de revestimento. Estas podem ser abertas ou fechadas. Regra geral, se as placas são cerâmicas ou em pedra, são deixadas juntas abertas em cerca de 8 milímetros, situação que não provoca alterações significativas a nível de fluxo de ar, sendo também a quantidade de água que entra no espaço de ar desprezável. O fechamento das juntas com silicone ou outro material adequado, provoca um aumento da pressão externa em situações de incidência do vento sobre a fachada, aumentando também o diferencial entre pressões internas e externas. Este fenómeno faz com que a água, existindo falhas de vedação, migre dos locais com maior pressão, os exteriores, para os de menor pressão, os interiores, o que não é recomendável. O fechamento das juntas também aumenta a necessidade de manutenção uma vez que esta se deve frequentemente à degradação do silicone [45].

4.3.3.3. Cumprimento do RCCTE

A fachada ventilada é, à semelhança do ETICS, um sistema de isolamento pelo exterior no entanto como possui uma lâmina de ar pressupõe-se que confira um maior isolamento térmico quando usando a mesma espessura de isolamento térmico.

Quadro 4.9 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da solução com fachada ventilada

U solução com fachada ventilada	
Alvenaria de granito com fachada ventilada	
Revestimento exterior independente	U = 0,81 W/(m ² .°C)
Caixa-de-ar ventilada	
Poliestireno expandido extrudido	
Argamassa de reboco tradicional	
Alvenaria de granito	
Reboco interior corrente	

Tal como previsto, verifica-se esse ganho em isolamento térmico em relação ao ETICS, no entanto a diferença é reduzida. Ao valor do 0.87 W/(m².°C) do U_{ETICS} a solução com fachada ventilada apresenta um U igual a 0.81 W/(m².°C).

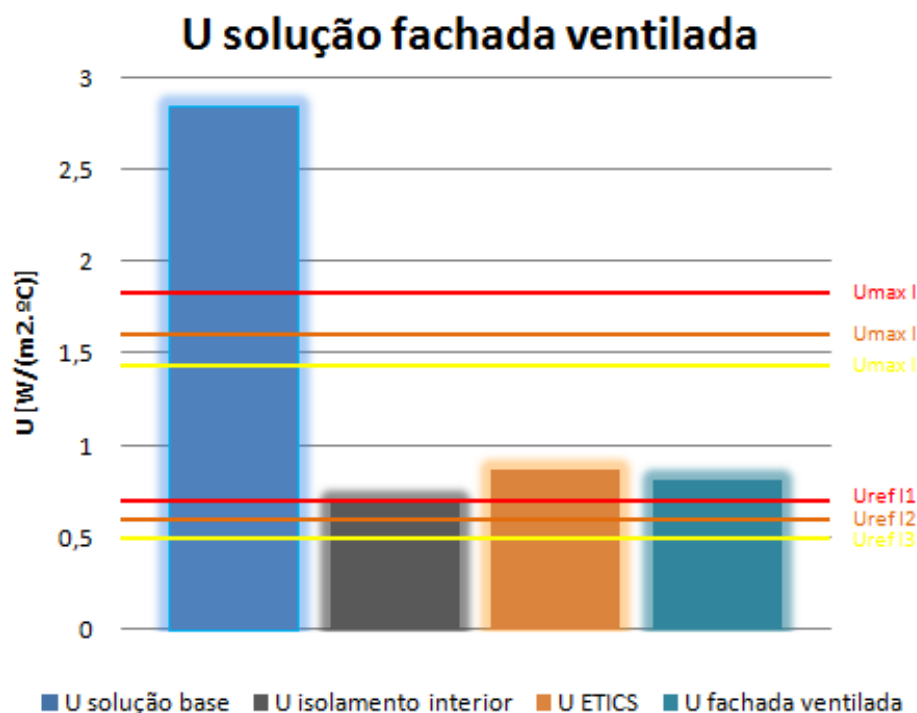


Fig.4.35 – Coeficiente de transmissão térmica da solução com fachada ventilada

Esta solução apesar de se revelar melhor que o sistema ETICS acaba por não conseguir obter o mesmo desempenho que o isolamento pelo interior mas como já se referiu para o sistema ETICS, os benefícios de utilizar uma solução com isolamento pelo exterior podem compensar a longo prazo o facto de terem coeficientes de transmissão térmica superiores.

Apesar de cumprir o RCCTE, também a fachada ventilada fica acima dos valores de referência, logo, tal como nos exemplos anteriores, aumentando a espessura do isolamento térmico para 6 cm, obtém-se um U de $0.49 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, valor que permite aplicar esta solução em qualquer zona do país ficando assim dentro dos valores de referência.

4.3.4. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO EXTERIOR – COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO MANTENDO O REVESTIMENTO POR PLACAS

4.3.4.1. Particularidades

O centro histórico da cidade do Porto é rico na sua variedade de edificações e um bom observador facilmente repara na diversidade de revestimentos que compõem as fachadas dependendo estes da altura em que foram aplicados e também do tipo de edifícios a que se destinam. Uma solução frequentemente adoptada nalgumas habitações é constituída por placas onduladas em plástico resistente fixas rigidamente à própria alvenaria resistente da fachada. Estas placas são uma solução barata, esteticamente pobres mas que cumprem a função para que são destinadas, permitindo ainda uma ventilação da fachada fruto dos espaços que a configuração das placas permite entre estas e a alvenaria.



Fig.4.36 – Edifícios com fachada revestida a placas em plástico ondulado

Uma reabilitação neste tipo de fachadas seria simples e passaria por remover esse revestimento, aplicando-se o isolamento térmico por colagem à alvenaria, com a necessária preparação da superfície desta, podendo posteriormente recolocar-se as placas mantendo assim a imagem da fachada inalterada e com um custo final bastante inferior a outro tipo de reabilitação mais profunda e intrusiva.

O facto de este ser um revestimento relativamente fraco em termos de resistência leva a que seja quase na totalidade dos casos, aplicado apenas a um nível superior ao de acesso a humanos, ou seja, do primeiro piso para níveis superiores. Como já foi referido para o sistema ETICS, para o andar ao nível do arruamento, a estratégia de reabilitação poderia passar por isolar o interior da fachada tendo o

cuidado de proteger os pontos singulares, nomeadamente o nível onde é terminado o isolamento pelo interior e se inicia o isolamento pelo exterior.



Fig.4.37 – Revestimento em placas de plástico ondulado aplicado apenas em andares elevados

Será importante ressaltar que esta não poderá ser considerada uma técnica de reabilitação de fachadas, no entanto dado o caso específico deste trabalho ser o centro histórico do Porto e neste local existirem várias destas edificações achou-se relevante incluir uma referência ao tipo de tratamento que se poderia aplicar tendo pela frente um caso desta natureza.

4.3.4.2. Cumprimento do RCCTE

Naturalmente que a simples aplicação do isolamento térmico a uma fachada constituída por uma alvenaria simples de granito garante logo à partida o cumprimento do actual Regulamento de Térmica, pelo que apenas se referirá o valor necessário a ter em conta da espessura que deverá possuir o isolamento de maneira a que possa cumprir os valores de referência. Para esse cálculo não será considerada a resistência térmica das placas que constituem o revestimento dado esta ser diminuta podendo assim ser desprezada. No entanto para valor da resistência térmica superficial exterior, R_{se} , considerar-se-á $0.13 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$ pois existe um pequeno espaço de ar entre as placas e a alvenaria de granito.

Aplicando um isolamento em poliestireno expandido extrudido de 3 cm de espessura obtemos um U de $0.80 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ valor que já consegue cumprir o RCCTE, no entanto para cumprir o U_{ref} de $0.60 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ para o Porto, ou seja, zona I2, teremos de adoptar um isolamento de 5 cm de espessura.

4.4 CONCLUSÕES

4.4.1. DIFERENÇAS ENTRE SOLUÇÕES

A primeira ideia a reter é que não existem soluções perfeitas e nenhuma solução pode ser eleita como a melhor solução de reabilitação. Cada caso é um caso e necessita de ser estudado de maneira a escolher para o edifício em questão a solução que melhor se adequa. Isto porque nem todas as soluções são viáveis, ou porque tal não se justifica economicamente, ou porque fisicamente é impossível de aplicar ou ainda porque mesmo que seja possível aplicar pode não resolver o problema na sua totalidade ou criar outros.

Em termos de custos e embora não tenha sido efectuada nenhuma análise económica, podem-se tecer alguns comentários. O preço de cada solução pode variar muito pois depende de diversos factores como o material usado para isolamento térmico e a sua espessura, a existência de mais ou menos zonas de remate do sistema como janelas, cunhais, platibandas, etc. e do tipo de mão de obra requerida para a montagem. Dentro da mesma técnica de reabilitação existem fabricantes que desenvolveram combinações de materiais oferecendo num só produto a solução completa de reabilitação, massificando-se a sua utilização o que levou a uma descida dos preços dentro do sector.

A solução de reabilitação pelo interior revela-se a mais económica, não só porque não exige montagem de estruturas de apoio à obra como andaimes pois realiza-se no interior, mas também porque esta técnica recorre geralmente a painéis pré-fabricados de fácil montagem tornando-os mais acessíveis economicamente. O sistema ETICS é hoje bastante utilizado e existem no mercado diversas empresas que aplicam esta solução no entanto revela-se mais gravosa economicamente em relação à reabilitação pelo interior exactamente pelas razões inversas às anteriormente apontadas, acrescidas do facto de que com o sistema ETICS o custo aumenta em proporção com o número de remates necessários efectuar. A fachada ventilada é a opção mais cara pois requer mão-de-obra especializada na sua montagem, requer estruturas de apoio à obra e porque recorre frequentemente a revestimentos mais nobres, como a pedra natural, cujo custo é superior aos outros revestimentos tradicionais.

Em edificações cujas fachadas se encontrem degradadas, apresentem fissuras e problemas de estanquidade, a reabilitação pelo exterior é a mais adequada. Se estas apresentarem ornamentos em cornijas, platibandas ou outras saliências cujo remate é de difícil execução e que podem formar pontes térmicas, será recomendado optar pela reabilitação interior. Se não existir qualquer condicionante de exequibilidade na fachada, qualquer das soluções é recomendada, sendo a reabilitação pelo exterior menos económica a curto prazo, fruto do maior investimento, mas compensadora a longo prazo devido à sua maior eficácia em ganhos energéticos pois utiliza a inércia térmica total da parede.

Existem no entanto outros factores a ponderar na hora de escolher a técnica a utilizar, como o facto do edificio a reabilitar estar ou não habitado uma vez que a reabilitação pelo exterior não impede a vivência normal dos edificios intervencionados, ou também o facto de que a reabilitação pelo interior irá diminuir a área útil dos compartimentos, desvalorizando teoricamente a habitação.

Resumindo:

- Reabilitação pelo interior é a mais interessante para quem procura investimentos com benefícios a curto prazo, uma vez que é a técnica mais barata, de fácil montagem e manutenção;
- Em edificios com valor patrimonial e arquitectónico nas fachadas, como azulejos e ornamentos, a reabilitação pelo interior é a adequada;
- Na reabilitação pelo interior, devido à sua fraca inércia, vamos apenas aquecer/arrefecer o ar e não a envolvente, pelo que esta solução funciona mais eficazmente quando esse aquecimento/arrefecimento é feito de modo contínuo;
- De maneira a ser mais eficaz, a reabilitação pelo interior deve contemplar não só as fachadas mas também as lajes pois só assim se anulam as pontes térmicas;
- Reabilitando pelo interior, a parede continuará a estar sujeita a diferenciais térmicos elevados contribuindo assim para uma mais rápida degradação dos seus materiais constituintes;
- A longo prazo, a reabilitação exterior é mais compensatória pois embora tenha um custo inicial mais elevado, produz melhores resultados em termos de perdas energéticas, pois

isola a envolvente continuamente corrigindo as pontes térmicas, traduzindo-se numa maior poupança;

- A reabilitação pelo exterior permite a contabilização da totalidade da parede para a inércia térmica, além de corrigir as pontes térmicas e de impermeabilizar as paredes;
- A reabilitação pelo exterior permite a alteração do aspecto da fachada sendo possível optar por uma gama variada de acabamentos;
- Nas fachadas acessíveis e muito sujeitas a choques não é aconselhada a aplicação do ETICS mas sim da fachada ventilada com um revestimento resistente;
- A fachada ventilada superioriza-se em relação ao ETICS pelo facto de possuir uma caixa-de-ar ventilada que melhora o desempenho térmico e higrotérmico e pela facilidade de alteração e manutenção das peças que constituem o revestimento.

4.4.2. DESEMPENHO TÉRMICO

O factor essencial em qualquer solução de reabilitação térmica e com mais influência no seu desempenho final é o isolamento térmico. Nesse sentido uma pequena variação da sua espessura produz grandes diferenças no seu desempenho. Como foi verificado neste trabalho, uma espessura mínima de 3 cm de XPS é o suficiente para fazer cumprir o RCCTE, no entanto coloca todas as soluções acima dos valores de referência para todas as zonas de Portugal. Para cumprir os U_{ref} para todo o continente é suficiente o aumento da espessura do isolamento térmico para 6 cm, pois este é o factor com mais importância no cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, U .

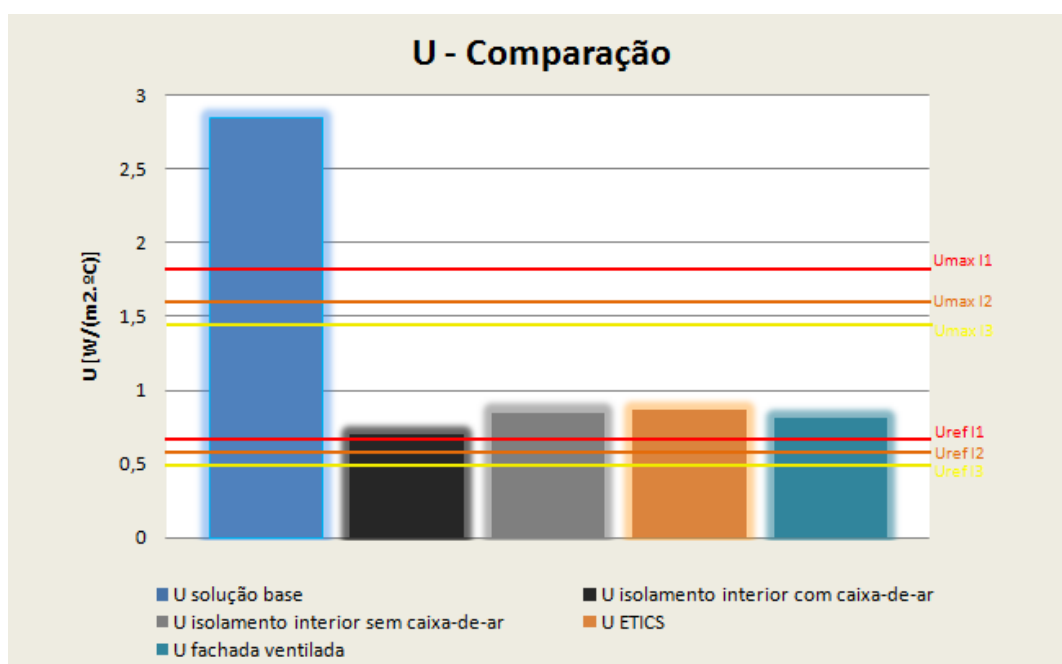


Fig.4.38 – Comparação do desempenho térmico (U) das diferentes soluções com 3 cm de isolamento

Relembrando que se estão apenas a analisar os coeficientes de transmissão térmica das diferentes soluções, a solução com melhor desempenho térmico é claramente a reabilitação pelo interior com a caixa-de-ar entre a alvenaria de granito e o isolamento térmico. No entanto relembra-se que a correcção das pontes térmicas neste tipo de solução é complicada e exige o isolamento das lajes

superior e inferiormente. Tal como já foi referido, a reabilitação pelo interior é mais eficiente se incluir uma caixa-de-ar entre o isolamento e a parede já existente, verificando-se uma diferença significativa entre a solução que inclui esse espaço e a que não inclui. Comparando as soluções de isolamento pelo exterior, conclui-se que a fachada ventilada garante maior conforto térmico devido à caixa-de-ar ventilada, não sendo no entanto grande a diferença para o sistema ETICS.

A tabela seguinte pretende indicar a espessura de isolamento necessária para que cada uma das soluções referidas cumpra o valor de referência mínimo, ou seja, de $0.50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo assim aconselhada para as zonas com um inverno mais rigoroso, logo aptas para serem aplicadas em qualquer zona do país.

Quadro 4.10 – Espessuras de isolamento necessárias para cumprimento dos valores de referência do RCCTE

Solução	Espessura de isolamento	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
Isolamento interior com caixa-de-ar	5 cm / 6 cm	0,51 / 0,45
Isolamento interior sem caixa-de-ar	6 cm / 7 cm	0,51 / 0,45
Isolamento exterior ETICS	6 cm / 7 cm	0,51 / 0,45
Isolamento exterior fachada ventilada	6 cm	0,49

Uma última referência para o facto de todos os cálculos efectuados terem considerado o XPS como isolamento térmico, com uma condutibilidade térmica de $0.037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, ou seja, um dos melhores isolamentos disponíveis no mercado. A aplicação de outros isolamentos térmicos certamente que irá alterar algumas das considerações aqui efectuadas, nomeadamente a nível das espessuras necessárias para o cumprimento do RCCTE, sendo por isso necessário ao leitor efectuar as devidas correcções.

5

ANÁLISE DE CONDENSAÇÕES NUMA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR

5.1 O FENÓMENO DAS CONDENSAÇÕES

Embora se tenha assistido nos últimos anos a uma crescente preocupação no sentido de dotar as habitações de maior conforto e qualidade, verifica-se muitas vezes que estas não apresentam o desempenho pretendido. O problema das humidades nas habitações é uma patologia cada vez mais frequente nos nossos dias. A condensação de vapor de água é talvez a patologia típica dos edifícios construídos actualmente.

Os mecanismos que regem o transporte de humidade numa parede são complexos:

- Na fase de vapor, a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros condicionam o transporte;
- Na fase líquida, a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externas comandam a transferência de humidade.

No entanto, o transporte em fase líquida e em fase vapor ocorre em simultâneo e as condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar e pressão do vento das ambiências – que definem as condições fronteira no interior e exterior – são muito variáveis ao longo do tempo.

Do ponto de vista físico podemos considerar que há três mecanismos fundamentais de fixação da humidade: absorção, condensação e capilaridade. Estes três mecanismos permitem explicar, na generalidade dos casos, a variação do teor de humidade no interior dos materiais de construção com estrutura porosa.

O fenómeno das condensações é explicado por Glaser, que afirma que em qualquer ponto no interior de um material de construção, a pressão de vapor tem que ser inferior ou igual à pressão de saturação, e no caso de serem iguais ocorrem condensações pois o transporte em fase de vapor origina uma fase líquida. Quando os teores de humidade gerados pela condensação são elevados, passa a haver fluxos de humidade em fase líquida no sentido contrário ao fluxo de vapor. Quando duas faces de elementos se encontram a temperaturas diferentes, através do diagrama psiconométrico pode-se determinar a respectiva curva das pressões de saturação e se em qualquer ponto esta coincidir com a curva das pressões instaladas haverá ocorrência de condensações.

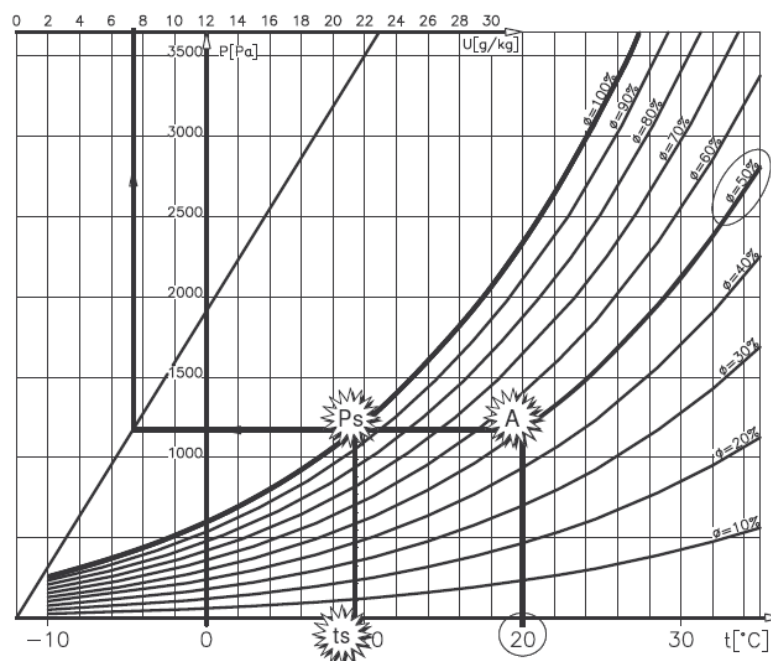


Fig.5.1 – Diagrama psicométrico [24]

Como pode observar-se na figura, o ar do interior dos edifícios contém uma determinada quantidade de vapor de água, a que corresponde um valor mínimo de temperatura abaixo do qual ocorrem condensações, designada por temperatura de ponto de orvalho – t_s .

O clima interior dos edifícios e as condições climáticas exteriores são os factores que determinam os gradientes de pressão de vapor de água a que um elemento da envolvente se encontra sujeito, que por sua vez condicionam o fluxo de difusão de vapor através dos elementos que a compõem. A alimentação desse fluxo condensado pode vir do vapor contido inicialmente nesse domínio e, fundamentalmente, do fluxo que se desloca da zona quente para a zona fria dos elementos de construção. As diferenças de pressão de vapor de água entre o ambiente interior dos edifícios e o exterior variam em função do tipo de utilização dos edifícios, existindo um parâmetro designado por higrometria que permite a sua caracterização. Conforme a higrometria dos edifícios, é necessário ter mais ou menos cuidados na sua concepção face à difusão de vapor e às condensações internas.

O parâmetro designado por higrometria traduz o aumento de pressão de vapor de água no interior de um local em relação ao exterior e, consequentemente, define o gradiente de pressão de vapor de água a que se encontra submetida a sua envolvente. A sua equação é dada por:

$$\frac{\omega}{n.V} \quad (1)$$

sendo ω o vapor de água produzido no interior de um local e $n.V$ o caudal de ventilação.

Os riscos de condensação são maiores no período de Inverno, normalmente entre os meses de Janeiro e Março, ocorrendo estas junto a superfícies internas mais frias ou em espaços mal ventilados como cozinhas e sanitários. Uma causa típica deste fenómeno ocorre quando o ar quente gerado numa divisão circula pela casa até outro compartimento mais frio, onde o ar não consegue comportar tanta humidade, sendo este excesso depositado nas superfícies existentes nessa divisão.

Para evitar a condensação é importante manter a humidade relativa interior a um valor inferior a 70% recorrendo a técnicas como aumento da temperatura interior, ventilando ou reduzindo a humidade produzida.

O modelo de termodifusão de Glaser baseia-se na lei de Fick, que diz que o fluxo de vapor que atravessa uma parede plana em regime estacionário depende da permeabilidade ao vapor e da espessura do elemento e da pressão de vapor. É um modelo bastante utilizado pela sua simplicidade e facilidade de exploração gráfica que no entanto não tem em conta o movimento posterior da fase líquida resultante da condensação.

A comparação dos resultados teóricos com os experimentais permite demonstrar que esta teoria é insuficiente para prever o fenómeno das condensações.

5.2 DESCRIÇÃO DA SIMULAÇÃO EFECTUADA

5.2.1. PROGRAMA UTILIZADO

Existem programas no mercado que nos permitem com alguma segurança avaliar o risco de condensações internas em elementos de construção tendo em conta o ambiente em que estarão inseridos. Estas ferramentas são cada vez mais essenciais para o estudo das patologias dos edifícios devendo ser utilizadas não só após se verificarem patologias mas principalmente em fase de projecto precisamente para precaver essas patologias.

Para analisar a hipótese de ocorrerem condensações na solução de reabilitação adoptada recorreu-se a dois programas: o CONDENSE 13788 e o CONDENSE 2000.

O primeiro é uma ferramenta mais poderosa, baseada no método de cálculo preconizado na norma EN13788, bastando ao utilizador fornecer as características técnicas dos materiais que compõem o elemento, nomeadamente o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água e o coeficiente de condutibilidade térmica. À medida que se vai inserindo os dados das diferentes camadas é possível ir acompanhando o trabalho através da observação do “esquema construtivo” desenhado à escala. Após inserir os dados relativos ao elemento construtivo terá de se fornecer ao programa os dados relativos ao ambiente interior e exterior que se pretende simular. Os resultados obtidos são apresentados numa tabela e num conjunto de gráficos elucidativos, que identificam as camadas onde podem ocorrer as condensações. O programa inclui ainda na sua base de dados as características de vários materiais e ainda de várias localidades do país.



Fig.5.2 – Imagem de apresentação do programa CONDENSE 13788

O programa CONDENSE 2000 é também baseado na norma EN13788 e executado na plataforma Excel. É claramente uma ferramenta menos evoluída mas não deixa no entanto de ser igualmente útil.

O funcionamento é semelhante ao descrito para o CONDENSE 13788, bastando ao utilizador inserir os dados relativos ao ambiente exterior e interior e os dados dos materiais. A interface não é tão apelativa e intuitiva no entanto a apresentação dos dados é completa e elucidativa.

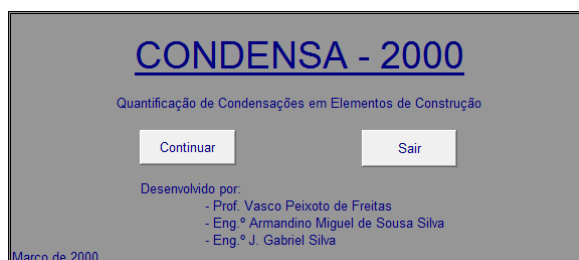
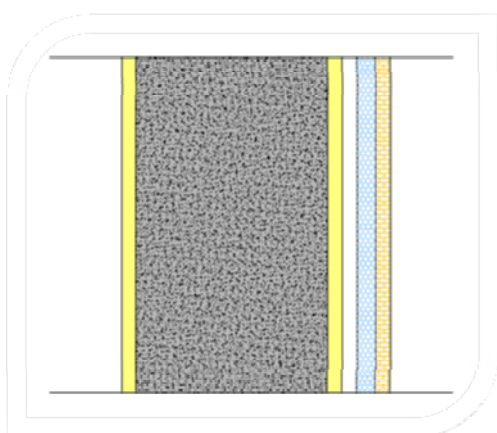


Fig.5.3 – Imagem de apresentação do programa CONDENSE 2000

5.2.2. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ADOPTADA

Para se testar a hipótese de ocorrência de condensações numa das soluções de reabilitação optou-se pela solução de reabilitação pelo interior. O elemento construtivo seria assim constituído por alvenaria de granito rebocada em ambas as faces, sendo colocado no seu interior separado por uma caixa-de-ar, isolamento térmico em poliestireno expandido extrudido suportado por placas de gesso cartonado.



Quadro 5.1 – Descrição do elemento em estudo

Material	Espessura
Reboco tradicional	3 cm
Alvenaria de granito	40 cm
Reboco tradicional	3 cm
Caixa-de-ar	3 cm
Poliestireno expandido extrudido (XPS)	4 cm
Placas de gesso cartonado	1,25 cm

Fig.5.4 – Alvenaria de pedra com isolamento pelo interior

5.2.3. DADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSE 13788

Como o presente estudo se baseia na zona do centro histórico do Porto, seleccionou-se na base de dados a opção relativa ao Porto e as características climáticas respectivas apareceram automaticamente. Como à partida os edifícios situados nesta zona carecem de conforto térmico optou-se por simular uma situação em que o ambiente interior fosse pouco aquecido, sendo por isso as temperaturas interiores relativamente baixas ao longo do ano.

	Descrição	λ [W/(mK)]	μ	d [m]	Cor/Padrão
	reboco exterior	1,3	18	0,03	
	alvenaria granito	2,8	27,67	0,4	
	reboco exterior	1,3	18	0,03	
	caixa-de-ar	0,1667	1	0,03	
	XPS	0,037	105	0,04	
►	gesso cartonado	0,25	8	0,0125	

Fig.5.5 – Dados relativos ao elemento construtivo

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]
	Janeiro	744	9,3	81	15	3,21
	Fevereiro	672	10,1	80	15	2,97
	Março	744	11,5	75	15	2,55
►	Abril	720	12,9	74	17	2,13
	Maiο	744	15,1	74	20	1,47
	Junho	720	18,1	74	20	0,57
	Julho	744	19,9	73	20	0,2
	Agosto	744	19,8	73	20	0,2
	Setembro	720	19	76	20	0,3
	Outubro	744	16,2	80	17	1,14
	Novembro	720	12,3	81	15	2,31
	Dezembro	744	9,9	81	15	3,03

Fig.5.6 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores

5.2.4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSE 13788

Os resultados desta simulação indicam que este elemento construtivo irá apresentar condensações internas no acabamento interior da alvenaria de granito nos meses mais frios do ano, ou seja, de Dezembro a Janeiro.

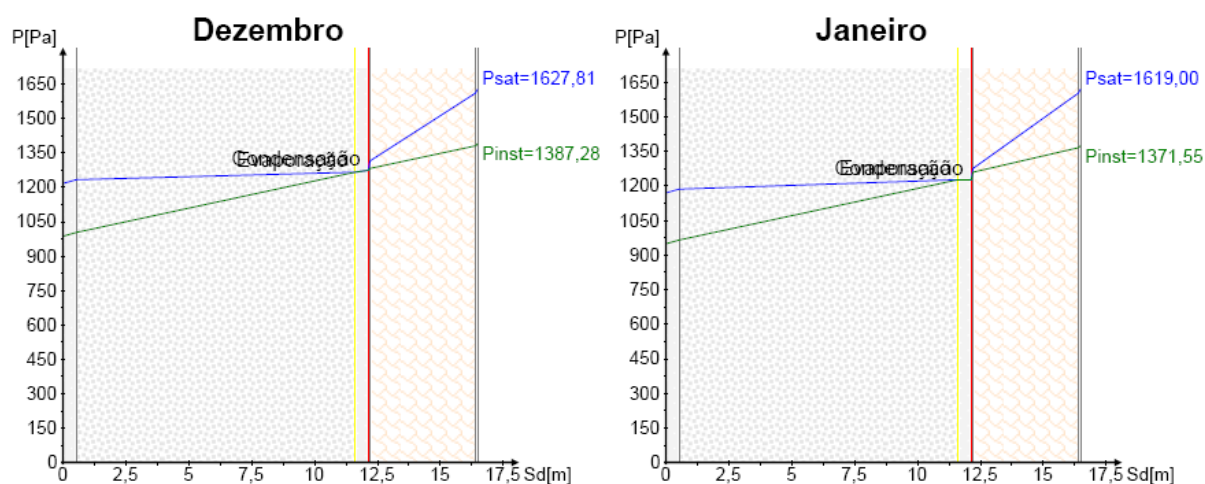


Fig.5.7 – Resultados do programa Condensa 13788 – Condensação em Dezembro e Janeiro

Este facto pode levar à degradação dos materiais e também à alteração das suas características térmicas, pois sabe-se que os isolamentos e outros materiais, quando estão húmidos vêm a sua condutibilidade térmica aumentar. Isto significa que a capacidade do isolamento cumprir a sua função fica diminuída podendo as condensações gerar problemas de ordem térmica. O programa indica no entanto que essa condensação tem condições para evaporar totalmente nos meses mais quentes.

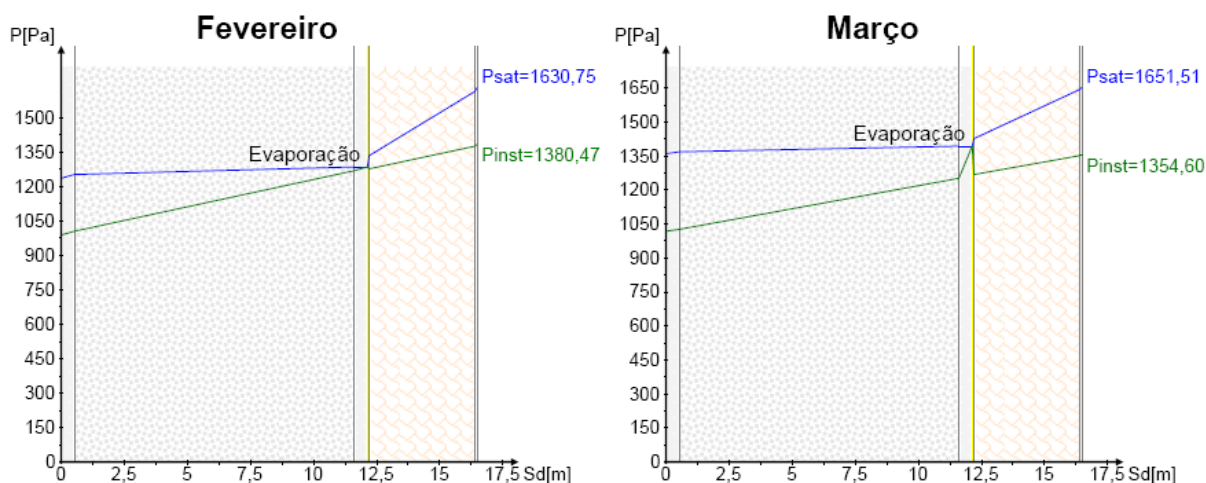


Fig.5.8 – Resultados do programa Condensa 13788 – Evaporação total em Fevereiro e Março

	Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m²]	P_i [Pa]	$gc3$ [kg/(m²s)]	$Ma3$ [Kg/m²]
►	Dezembro	744	9,9	81	987,479	15,0	3,03	1387,27	3,19E-09	0,0085
	Janeiro	744	9,3	81	948,443	15,0	3,21	1371,54	4,31E-09	0,0201
	Fevereiro	672	10,1	80	988,446	15,0	2,97	1380,46	-6,85E-10	0,0184
	Março	744	11,5	75	1017,19	15,0	2,55	1354,60	-8,21E-09	0
	Abril	720	12,9	74	1100,52	17,0	2,13	1384,03	0,00E+00	0
	Maió	744	15,1	74	1269,40	20,0	1,47	1466,83	0,00E+00	0
	Junho	720	18,1	74	1536,11	20,0	0,57	1613,06	0,00E+00	0
	Julho	744	19,9	73	1695,44	20,0	0,2	1722,52	0,00E+00	0
	Agosto	744	19,8	73	1684,96	20,0	0,2	1712,04	0,00E+00	0
	Setembro	720	19,0	76	1669,07	20,0	0,3	1709,63	0,00E+00	0
	Outubro	744	16,2	80	1472,49	17,0	1,14	1625,10	0,00E+00	0
	Novembro	720	12,3	81	1158,12	15,0	2,31	1464,19	0,00E+00	0

Fig.5.9 – Resultados do programa Condensa 13788 – Ocorrência de condensações

5.2.5. DADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENSE 2000

Para que a simulação produza resultados os mais semelhantes possíveis com a simulação feita no CONDENSE 13788, teremos que criar as mesmas condições atmosféricas exteriores e também a mesma temperatura interior. No entanto como neste programa não temos bases de dados, teremos de introduzi-los manualmente. A interface menos apelativa mas semelhante não oferece grande dificuldade nesta fase.

INTRODUÇÃO DE DADOS

Voltar
Calcular
Gráficos

Período analisado [h] 8760

N.º de intervalos de tempo 12

N.º de camadas 6

1/he [m²·C/W]... 0,04 1/hi [m²·C/W]... 0,13

dx exterior ... 0,005 dx interior 0,005

Prefere Trabalhar com Higrometria Interior
Humidade Relativa Interior

Fig.5.10 – Dados relativos aos intervalos de tempo da análise

N.º Camada	Espessura [m]	dx [m]	λ [W/m.°C]	π [g/(m.h.mmHg)]
1	0,03	0,003	1,3	5,00E-03
2	0,4	0,04	2,8	3,00E-04
3	0,03	0,003	1,3	3,15E-03
4	0,03	0,003	0,1667	9,50E-02
5	0,04	0,004	0,037	8,50E-04
6	0,0125	0,00125	0,25	1,20E-02

Fig.5.11 – Dados relativos ao elemento construtivo

N.º Intervalo de Tempo	Tint [°C]	Text [°C]	Higrometria [g/m3]	HRext [%]	Duração [h]
1	15	9,3	3,21	81	744
2	15	10,1	2,97	80	672
3	15	11,5	2,55	75	744
4	17	12,9	2,13	74	720
5	20	15,1	1,47	74	744
6	20	18,1	0,57	74	720
7	20	19,9	0,2	73	744
8	20	19,8	0,2	73	744
9	20	19	0,3	76	720
10	17	16,2	1,14	80	744
11	15	12,3	2,31	81	720
12	15	9,9	3,03	81	744

Fig.5.12 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores

5.2.6. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO NO CONDENA 2000

Tal como previsto, este elemento construtivo irá apresentar condensações internas no Inverno. Os gráficos demonstram que nos meses de Dezembro a Fevereiro irão ocorrer condensações, provavelmente no acabamento interior da alvenaria de granito. De referir que o Condensa 2000 não permite determinar se durante os meses quentes há a evaporação total das condensações ocorridas.

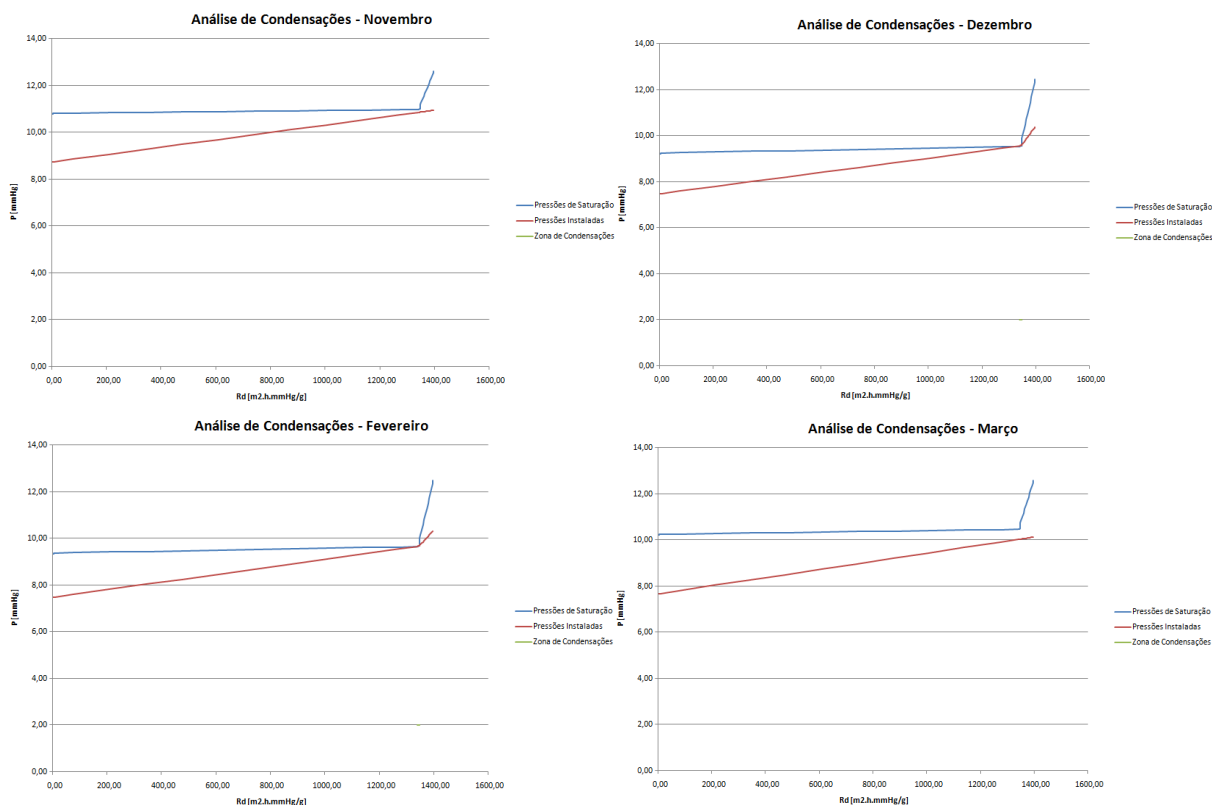


Fig.5.13 – Resultados do programa Condensa 2000 – Condensação de Dezembro a Fevereiro

Quadro 3: Resultados sobre fluxos e condensações

ΔT [h]	$\Sigma \Delta T$ [h]	Tint [°C]	Text [°C]	Hyint [g/m3]	HRExt [%]	Fterm [W/m²]	Fent [mg/(m².h)]	Fsaída [mg/(m².h)]	Fcond [mg/(m².h)]	Fcond/Fent [%]	HUM TOT [g]	Σ HUM [g]
744	744	15	9.3	3.21	81	3.413	20.215	1.516	18.699	92.5%	13.912	13.912
672	1416	15	10.1	2.97	80	2.934	12.665	1.627	11.038	87.2%	7.418	21.330
744	2160	15	11.5	2.55	75	2.096	1.755	1.755	0.000	0.0%	0.000	21.330
720	2880	17	12.9	2.13	74	2.455	1.436	1.436	0.000	0.0%	0.000	21.330
744	3624	20	15.1	1.47	74	2.934	0.931	0.931	0.000	0.0%	0.000	21.330
720	4344	20	18.1	0.57	74	1.138	0.351	0.351	0.000	0.0%	0.000	21.330
744	5088	20	19.9	0.2	73	0.060	0.140	0.140	0.000	0.0%	0.000	21.330
744	5832	20	19.8	0.2	73	0.120	0.137	0.137	0.000	0.0%	0.000	21.330
720	6552	20	19	0.3	76	0.599	0.182	0.182	0.000	0.0%	0.000	21.330
744	7296	17	16.2	1.14	80	0.479	0.793	0.793	0.000	0.0%	0.000	21.330
720	8016	15	12.3	2.31	81	1.617	1.592	1.592	0.000	0.0%	0.000	21.330
744	8760	15	9.9	3.03	81	3.054	15.957	1.547	14.410	90.3%	10.721	32.051

Fig.5.14 – Resultados do programa Condensa 2000 – Ocorrência de condensações

5.3 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A ocorrência de condensações no elemento construtivo verifica-se em ambos os programas pelo que pode afirmar-se com segurança que este elemento não está preparado para evitar as condensações. Os meses mais frios são os mais propícios a que este fenómeno ocorra pois as temperaturas exteriores descem a valores muito baixos fazendo com que a higrotermia nos edificios seja mais elevada. É importante ter em conta as condensações pois como já foi referido, a humidade além de poder degradar alguns materiais aumenta a sua condutibilidade térmica diminuindo assim a capacidade isolante dos mesmos. Isto é particularmente grave no caso dos isolamentos térmicos pois se estes não

tiverem o desempenho esperado os edifícios deixam de ter conforto térmico, ficando mais sujeitos a novas patologias.

Para evitar as condensações é essencial ventilar os compartimentos, isolá-los e aumentar a sua temperatura interior. No caso analisado e olhando para as características dos materiais utilizados, percebemos que se conseguirmos aumentar a resistência à difusão do suporte do isolamento térmico, chegará menos vapor à alvenaria de granito, diminuindo necessariamente as condensações a ponto de ser possível anulá-las. A troca das placas de gesso cartonado por um suporte em alvenaria de tijolo de 3 cm teria o inconveniente de ainda ocupar mais espaço interior (um aumento de 1,75 cm) mas seria o suficiente para que a resistência à difusão de vapor aumentasse de maneira a eliminar as condensações.

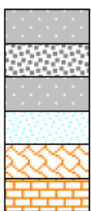
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
reboco exterior	0,03	1,3	18	
alvenaria granito	0,4	2,8	27,67	
reboco exterior	0,03	1,3	18	
caixa-de-ar	0,03	0,1667	1	
XPS	0,04	0,037	105	
tijolo de 3	0,03	0,43	18	

Fig.5.15 – Solução alternativa

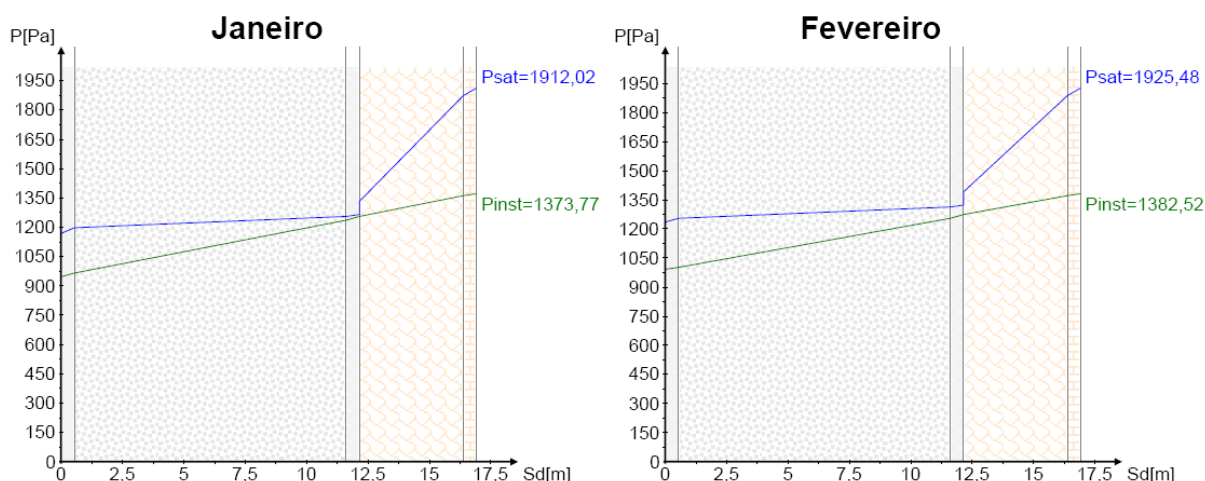


Fig.5.16 – Resultados do programa Condensa 13788 – Ausência de condensações nos meses mais frios

A escolha dos elementos construtivos da envolvente deve por isso ser tal que a resistência à difusão de vapor de água das camadas diminua progressivamente do interior para o exterior de um elemento construtivo (admitindo um fluxo do interior para o exterior – situação de Inverno). Ou seja, os componentes com elevada resistência à difusão de vapor deverão ser aplicados pelo interior das camadas de isolamento térmico, enquanto que pelo exterior se deverão aplicar componentes com reduzida resistência à difusão de vapor.

5.4 CONCLUSÕES

O fenómeno das condensações é cada vez mais recorrente, principalmente nos edifícios recentes. Isto não quer dizer que os edifícios mais antigos não padeçam deste problema, sendo por isso essencial em obras de reabilitação ter em conta o comportamento higrotérmico das soluções adoptadas pois se nestas ocorrerem condensações, o comportamento térmico certamente que também será afectado, inutilizando todo o propósito da reabilitação.

A escolha de uma solução para reabilitação de um elemento da envolvente terá de ter em conta o meio em que este está envolvido pois ao longo desta análise foi possível concluir que as condições climáticas do meio exterior têm bastante influência na ocorrência de condensações. Determinada solução pode ser óptima para o Porto mas não o ser para Bragança. Localidades mais frias e húmidas são mais propícias para que ocorram condensações nos edifícios, pelo que estes têm de ser projectados para que os seus elementos sejam o mais adequados possíveis para o conforto pretendido.

Há também que ter em conta a utilização do edifício, nomeadamente a produção de vapor no seu interior, os mecanismos de extracção de ar, as renovações horárias dos compartimentos, os meios de aquecimento, etc. As condições interiores são parte do problema ou da solução, pois as condensações estão directamente dependentes das diferenças de pressão a que os elementos construtivos estão sujeitos.

As paredes exteriores, assim como todos os elementos da envolvente dos edifícios, necessitam de “respirar”, pelo que a impermeabilidade ao vapor das camadas que as constituem deve aumentar no sentido do interior para o exterior.

A caixa-de-ar representa um papel fundamental neste tipo de soluções pois não só coloca uma barreira à movimentação da água por convecção e capilaridade entre os materiais da parede como também permite que a água condensada nas superfícies dos elementos que constituem a caixa-de-ar possa evaporar, situação bastante comum quando esse espaço é ventilado.

De referir por último que geralmente os problemas ocorrem quando o fluxo de vapor se verifica do interior para o exterior, ou seja, na situação de Inverno como já foi referido, no entanto nos meses quentes de Verão este fluxo pode inverter-se, situação que aconselharia a que os elementos mais resistentes ao vapor se situassem no exterior. Isto serve para salientar que o fenómeno da condensação é complexo e padece de grande análise e estudo na fase de projecto de maneira a prevenir que este estudo e análise se tenham que efectuar posteriormente em situações de patologias.

6

CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido com o objectivo de aprofundar e juntar numa só obra vários conceitos sobre a reabilitação de fachadas, com especial enfoque em edifícios antigos como os presentes no centro histórico do Porto. Foram apresentadas várias soluções de reabilitação, destacando-se os campos de aplicação de cada uma, as suas vantagens e desvantagens, as suas limitações e também o seu potencial a nível de desempenho térmico tendo em conta os coeficientes de transmissão térmica de cada uma das soluções.

Verifica-se actualmente em Portugal um crescente empenho por parte das autarquias em fomentar a reabilitação dos edifícios degradados dos seus centros históricos, no entanto esta é uma iniciativa que devia partir das próprias pessoas, de empresas de construção, de imobiliárias, do sector da construção em geral. Nesse sentido, procurou-se também alertar para a necessidade de continuar a incentivar e a investir na área da reabilitação, não só porque o património degradado é crescente mas também como escape das empresas de construção portuguesas que se vêem obrigadas a procurar outras áreas de intervenção diferentes da construção de edifícios.

A degradação do património deve-se a diversas causas, podendo estas ir desde o simples envelhecimento das construções e dos seus materiais até deficiências de projecto e de execução. Na realidade verifica-se que muitos dos edifícios construídos recentemente apresentam ao fim de 3 e de 5 anos patologias diversas devidas a erros de projecto e de execução. E se ao nível da execução essa deve-se à falta de conhecimento e formação dos executantes já ao nível da fase de projecto muito há ainda a modificar.

A boa prática na execução de um projecto de construção dita que os projectos das várias especialidades devem ser devidamente compatibilizados sendo para isso necessário que os respectivos projectistas dialoguem entre si e que estejam ao corrente das necessidades que o edifício irá requerer para cada uma das vertentes. O importante nesta fase é que se estabeleça à partida as condicionantes que cada projecto estará sujeito, de maneira a minimizar no futuro problemas resultantes de incompatibilidades entre projectos. Como ficou explícito ao longo deste trabalho, um bom projecto de térmica há dez anos atrás, podia não significar que o edifício tivesse um bom comportamento higrotérmico actualmente, não só porque as condensações são um problema recente a que o anterior regulamento de térmica não dava a devida atenção, mas também porque algumas das soluções adoptadas na altura a nível exclusivamente térmico, não se compatibilizavam com o comportamento higrotérmico.

Há no entanto que olhar para o futuro e prevê-se que nos próximos anos outras especialidades venham a merecer cada vez mais atenção na concepção dos edifícios, não só devido a novas exigências de conforto e qualidade mas também devido ao surgimento de novas patologias decorrentes da adopção de novas tecnologias construtivas. Por exemplo, espera-se que nos próximos anos, a acústica venha a ganhar a importância e relevância na execução do projecto de um edifício que a térmica ganhou há duas décadas atrás com o lançamento do RCCTE em 1990.

É também importante referir que a reabilitação térmica e energética de um edifício só faz sentido se se tratar de uma reabilitação geral e não apenas de um elemento isolado. Faz também todo o sentido efectuar este tipo de reabilitações quando o edifício necessita de reabilitações do tipo estrutural, no qual se tenham que proceder a alterações ou reconstruções de elementos da envolvente, pois muitas vezes não se justifica economicamente a reabilitação térmica. Exemplos destas situações verificam-se quando é necessário trocar as caixilharias pois estas encontram-se em avançado estado de degradação e aproveita-se para se colocar vidros duplos ou quando é necessário intervir em coberturas para reforço da impermeabilização e se aproveita para colocar isolamento térmico.

Uma boa parte dos ganhos energéticos é efectuada através dos envidraçados e a reabilitação de uma fachada deve incluir não só a alvenaria mas também as caixilharias das janelas. Se a caixilharia estiver em bom estado é suficiente trocar o vidro simples por um vidro duplo. Nos casos em que se tenha de manter a caixilharia original poderá ser estudada a hipótese de colocação de uma nova janela pelo interior separada por cerca de 10 cm. Se pelo contrário as caixilharias se encontrarem degradadas e tiverem de ser substituídas deverá procurar-se umas em madeira seca e de boa qualidade ou então em plástico ou metal mas com corte térmico, sendo muito importante as caixilharias apresentarem vedações em todas as uniões e borrachas de vedação entre as suas partes móveis. Se possível deverá ainda procurar-se colocar protecções solares que apresentem boa estanqueidade quando fechadas formando espaços de ar fracamente ventilados, isto é, estores ou portadas que reduzam as perdas térmicas significativamente. Outro pormenor a não descuar deverá ser a colocação de isolamento nas caixas de estore substituindo as calhas existentes por outras que incorporem perfis de vedação.

Os contornos do vão, propícios a formarem pontes térmicas, devem seguir as seguintes regras:

- A janela deve ficar alinhada com o isolamento térmico da parede devendo a cantaria do vão também ser interrompida junto do isolamento;
- Os elementos de contorno do vão, tipo pedra, de elevada condutibilidade térmica devem ser interrompidos junto da caixilharia e do isolante térmico da parede.

6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A reabilitação da fachada de um edifício é um processo único, não repetitivo, e tal como ficou demonstrado neste trabalho não existem técnicas de reabilitação superiores ou ideais. Cada caso é um caso e para ele devem ser estudadas as técnicas aplicáveis e terminado esse processo devem chegar-se a um consenso sobre a que reúne melhores condições de aplicação garantido a melhor relação entre custos, qualidade e durabilidade.

Assim a reabilitação pelo interior é aconselhada para edifícios que pretendam manter o aspecto exterior da fachada, prometendo um bom desempenho térmico, uma fácil aplicação e manutenção. É provavelmente a solução com um investimento inicial mais económico, mas que obriga a correcção das pontes térmicas ao nível das lajes, a uma diminuição do espaço interior e à desocupação do edifício. Devido à fraca inércia desta solução, para que se verifique o conforto desejável no interior

dos compartimentos é aconselhado o aquecimento/arrefecimento contínuo uma vez que este se verifica rapidamente.

A reabilitação pelo exterior é recomendada a edifícios cujas fachadas se encontrem degradadas, com problemas de estanquidade ou impermeabilidade. Nesta solução os remates nas saliências da fachada são complicados de executar dificultando a sua aplicação e podendo levar à criação de pontes térmicas. Quando bem executadas permitem a correcção das pontes térmicas devido à continuidade do isolamento e garantem um bom conforto interior fruto da forte inércia das paredes. Esta técnica maximiza o espaço interior e não perturba os habitantes durante a sua execução. A grande variedade de acabamentos possíveis de aplicar permite que a reabilitação pelo exterior seja adequada para edifícios onde se pretenda uma mutação do aspecto da mesma.

Entre a reabilitação pelo sistema ETICS e pela fachada ventilada, destaca-se o custo, geralmente mais elevado no segundo caso devido à especialização da mão-de-obra necessária e aos revestimentos utilizados nomeadamente a pedra natural e a cerâmica. No entanto a fachada ventilada, apesar de mais cara, apresenta algumas vantagens que podem justificar essa diferença no custo. Em primeiro lugar a lâmina de ar existente entre o isolamento e o revestimento permite que a humidade evapore mais facilmente, diminuindo os riscos de degradação do mesmo e garante um melhor desempenho térmico. Em segundo lugar a possibilidade de colocar revestimentos em pedra natural e cerâmicos, confere à fachada uma maior resistência ao choque, diminuindo as despesas por reparação de revestimentos degradados, problema bastante frequente no sistema ETICS. Por último e devido ao sistema de encaixe das placas que formam o revestimento nos respectivos suportes verifica-se uma grande facilidade na remoção e troca de placas degradadas ou que necessitem de lavagem facilitando a manutenção da fachada.

Apesar de neste trabalho se ter dado enfoque na térmica dessas técnicas de reabilitação, actualmente o projecto de uma especialidade não deve ser executado sem ter em conta outras especialidades e como ficou patente no Capítulo 5, a higrotermia é uma área com cada vez mais importância devido às patologias que se verificam cada vez mais frequentemente nos edifícios derivadas de deficiências a esse nível e que prejudicam significativamente o desempenho térmico das fachadas. Uma reabilitação com o sistema ETICS aplicada com um revestimento impermeável irá provocar condensações internas pois a parede não conseguirá respirar, levando à degradação dos materiais que a constituem nomeadamente o isolamento térmico, comprometendo assim todo o propósito da reabilitação.

As linhas gerais que devem ficar retidas são que um projecto de reabilitação deve ser muito bem pensado, minuciosamente pormenorizado e eximamente executado.

6.3 FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

É necessário inverter a situação actual e na área da construção há bastante a alterar. Além do incentivo à reabilitação existem aspectos na própria estrutura da reabilitação que devem ser revistos e modificados de modo a irem de encontro às reais necessidades dos donos-de-obra. Devem-se desenvolver metodologias para a elaboração de projectos de reabilitação, desenvolver estudos de diagnóstico, conhecer as patologias mais correntes, conhecer as técnicas utilizadas na reabilitação, elaborar cadernos de encargos exigenciais e também estudar casos de execução de reabilitações já realizadas. A metodologia para a elaboração de projectos de reabilitação deve integrar:

- Elaboração de um estudo de diagnóstico – proposta de soluções e estimativa de custos unitários;

- Definição por parte do dono-de-obra da estratégia de intervenção – dependente da disponibilidade financeira;
- Elaboração do projecto de execução;
- Consulta de empresas de construção e análise técnico-económica das propostas;
- Contratação da equipa de fiscalização (controlo técnico e financeiro dos trabalhos) e adjudicação da obra;
- Execução da obra.

A reabilitação de um edifício é uma actividade complexa, envolvendo diversas variáveis que devem ser devidamente consideradas e estudadas, de maneira a que se consigam atingir os objectivos na sua totalidade e de preferência da maneira mais eficiente possível. A execução de um projecto de reabilitação é algo que não se deve encarar de ânimo leve mas sim como um desafio único que coloca ao projectista dificuldades cuja resolução deve ser ponderada e baseada em análises, testes e ensaios. Nesse sentido, existem regras que devem ser seguidas pelo projectista responsável pelo projecto de reabilitação de um edifício:

- Diagnóstico:
 - análise da informação escrita e desenhada contendo pormenores e eventuais intervenções;
 - realização de inquéritos com vista a identificar fogos degradados, patologias repetitivas e exigências dos utilizadores;
 - visitas ao interior e exterior do edifício;
 - realização de um levantamento fotográfico do edifício e das suas patologias;
 - medições “in situ” ou em laboratório;
 - efectuar sondagens nos elementos da envolvente;
 - elaboração de um relatório do estudo de diagnóstico que envolva uma descrição dos elementos construtivos em análise, resultados das sondagens e medições, descrição e causa das patologias, a metodologia dos trabalhos de reabilitação e uma estimativa do custo unitário de reparação;
- Estratégia de intervenção:
 - perante o relatório o dono-de-obra conhece as necessidades de intervenção e as soluções disponíveis e custos associados;
 - escolha com base na relação custo/durabilidade;
- Projecto de execução:
 - memória descritiva e justificativa;
 - caderno de encargos exigenciais – condições técnicas específicas;
 - desenhos gerais e de pormenor sendo destes últimos que depende grande parte do sucesso de toda a operação de reabilitação;
- Análise técnico-económica das propostas;
- Controlo dos trabalhos de reabilitação – execução da obra:
 - fiscalização – controlo técnico e financeiro dos trabalhos;
 - acompanhamento intensivo do projectista.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Roque, J., Lourenço, P. (2003). *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*. http://www.civil.uminho.pt/masonry/Publications/Update_Webpage/2004_Roque_Lourenco1.pdf. Abril de 2008.
- [2] ADENE (2007). Certificação Energética e Ar Interior, Edifícios. Sessão de Informação sobre SCE – Porto. 09/10/2007.
- [3] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de Abril. Porto Editora. Porto. 2006.
- [4] Santos, C., Matias, L. (2007). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Lisboa.
- [5] Freitas, V. (2005). *Evolução na Concepção das Fachadas em Portugal em Função do Desempenho Térmico*. <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ENITA05.pdf>. Abril de 2008.
- [6] ACEPE (2007). *EPS – Soluções Inovadoras de Isolamento Térmico*. <http://www.dcivil.estv.ipv.pt/dep/dcivil/Ficheiros%20em%20pdf/Dia%20do%20DEC%202007/DEC%20ESTV%2019.04.2007-%20ACEPE.pdf>. Abril de 2008.
- [7] Freitas, V., Gonçalves, F. (2005). *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>. Abril de 2008.
- [8] Freitas, V. (2002). *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. http://www.maxit.pt/media/12/tecdocs/revestimentos/HT_191A_02.pdf1.pdf. Abril de 2008.
- [9] APCMC (2006). *Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) de Edifícios*. http://www.apcmc.pt/eventos/Concreta2006/apresentacoes/Dia25/ETICS_APCMC.pdf. Abril de 2008.
- [10] Construlink (2007). *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. http://www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/gt_395_construlink_17_12_02_2007.pdf. Julho de 2008.
- [11] BSCD Portugal (2005). *Manual de boas práticas de Eficiência Energética*. <http://www.bcsdportugal.org/files/496.pdf>. Maio de 2008.
- [12] Paiva, J. (2000). *Medidas de Reabilitação Energética em Edifícios*. LNEC, Lisboa.
- [13] Bragança, L., Mateus, R. (2006). *Sustentabilidade de Soluções Construtivas*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6891/1/Sustentabilidade%20de%20Solu%20c3%a7%20c3%b5es%20Construtivas.pdf>. Abril de 2008.
- [14] Bragança, L., Mateus, R. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Edições Ecopy, Porto.
- [15] Silva, J. (2002). *Alvenarias Não Estruturais – Patologias e Estratégias de Reabilitação*.
- [16] Pereira, Vasco S. (2006). *Tendências na Reabilitação de Fachadas – a contribuição da indústria de construção*. <http://www.aveirodomus.pt/workshop/3%20Reabilitacao/3%20Vasco%20Pereira.pdf>. Maio de 2008.
- [17] Gonçalves, A. (2007). *Reabilitação de Paredes de Alvenaria*. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico.

- [18] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/88/Serra-Talhada-Casa-de-taipa.jpg/150px-Serra-Talhada-Casa-de-taipa.jpg>. Abril 2008.
- [19] Aguiar, J., Cabrita, A., Appleton, J. (1997). *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*. LNEC, Lisboa.
- [20] Lourenço, P. (2005). *Arquitetura sem Fissuras – Potencialidades das Armaduras de Junta*. http://www.civil.uminho.pt/masonry/Publications/Update_Webpage/2005_Arq_Vida.pdf. Maio de 2008.
- [21] Mendes da Silva, J. (2002). *Alvenarias Não Estruturais – Patologias e Estratégias de Reabilitação*. http://www.civil.uminho.pt/masonry/Publications/Paredes_de_Alvenaria/Artigo%20Pag%20187-206.pdf. Maio de 2008.
- [22] Freitas, V. P., Pinto, P. (2003). *Humidade na Construção – Humidade de Condensação*. https://www.fe.up.pt/si/conteudos_geral.conteudos_ver?pct_pag_id=1639&pct_parametros=p_ano_lectivo=2007/2008-y-p_cad_codigo=EC0066-y-p_perodo=2S. Junho de 2008.
- [23] Mendonça, L. V. (2005). *Condensações em Edifícios*. <http://www.spybuilding.com/downloads/CondensacoesEmEdificios.pdf>. Junho de 2008.
- [24] Freitas, V., Pinto, P. (1998). *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas – NIT 002*. Porto. LFC.
- [25] <http://www.civil.uminho.pt/alvenaria/docs/Pina.pdf>. Junho 2008.
- [26] <http://www.isosfer.pt/isosfercenter.htm>. *Isolamento pelo interior*. Junho de 2008.
- [27] <http://building.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/walls/req/simples.htm?view=print>. *Isolamento pelo interior*. Junho de 2008.
- [28] <http://www.futureng.com/gesso.htm>. *Placas de gesso cartonado*. Junho de 2008.
- [29] <http://www.gestedi.pt/index.php?option=content&task=view&id=69>. *Placas de gesso cartonado*. Junho de 2008.
- [30] <http://imagens.webboom.pt/imagem?amb=capaprod&id=51748&width=130>. Julho 2008.
- [31] <http://www.batiproduits.com/moniteur/files/ProduitPhoto/1000732427.jpg>. Julho 2008.
- [32] http://www.knauf.com.br/knauf_standard.php. *Características de placas de gesso cartonado*. Julho 2008.
- [33] <http://www.knauf.es/knauf/controller/controller.jsp?chId=40&famId=810#anclaClasificacion>. *Preço de placas de gesso cartonado*. Julho 2008.
- [34] <http://www.damadeira.pt/damadeira/administracao/conteudos/catalogos/painellamelada5capas.pdf>. Julho 2008.
- [35] <http://pt.shvoong.com/exact-sciences/392520-pain%C3%A9is-madeira-reconstituída-osb/>. Julho 2008.
- [36] <http://www.mundimat.pt/pdfs/paineismadeira/2.pdf>. Julho 2008.
- [37] <http://www.akzonobel-ti.com.br/artigos/aglomerado/images/aglomerado.jpg>. Julho 2008.

- [38] <http://www.sandalo.com.pt/tabelas/placas.pdf>. Julho de 2008.
- [39] http://www.ademe.fr/particuliers/fiches/isolation_thermique/rub4.htm. Julho 2008.
- [40] <http://www.petrecal.com/images/fachada-ventilada3.jpg>. Julho 2008.
- [41] <http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/trombe.jpg>. Abril 2008.
- [42] <http://www.interempresas.net/fotos/99277.jpeg>. Julho 2008.
- [43] <http://www.sotecnisol.pt/fachada-ventilada.php>. Julho 2008.
- [44] <http://www.patorreb.com>. *Fichas de patologia*. Abril 2008.
- [45] <http://amaurysiqueira.pcc.usp.br/qualidade.htm>. *Fachada ventilada*. Julho 2008.
- [46] http://www.sardinha-leite.pt/getfile.php?ext=pdf&xp=2&src=file46_pt. *Fachada ventilada*. Julho 2008.
- [47] http://soladrilho.sinergiadesign.com/index.php?option=com_content&task=view&id=162&Itemid=181. *Pormenores construtivos de fachadas ventiladas*. Julho de 2008.
- [48] <http://www.rocatile.com/servlet/portal/FvEcorporateSvl?planguage=ES&ppais=ES&page=1072307969841&sesid=1595223210930>. *Pormenores construtivos de fachadas ventiladas*. Julho de 2008.
- [49] Freitas, V., Sousa, M. *Reabilitação de Edifícios*. <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>. Junho de 2008.
- [50] <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/88/Serra-Talhada-Casa-de-taipa.jpg/150px-Serra-Talhada-Casa-de-taipa.jpg>. Abril 2008.

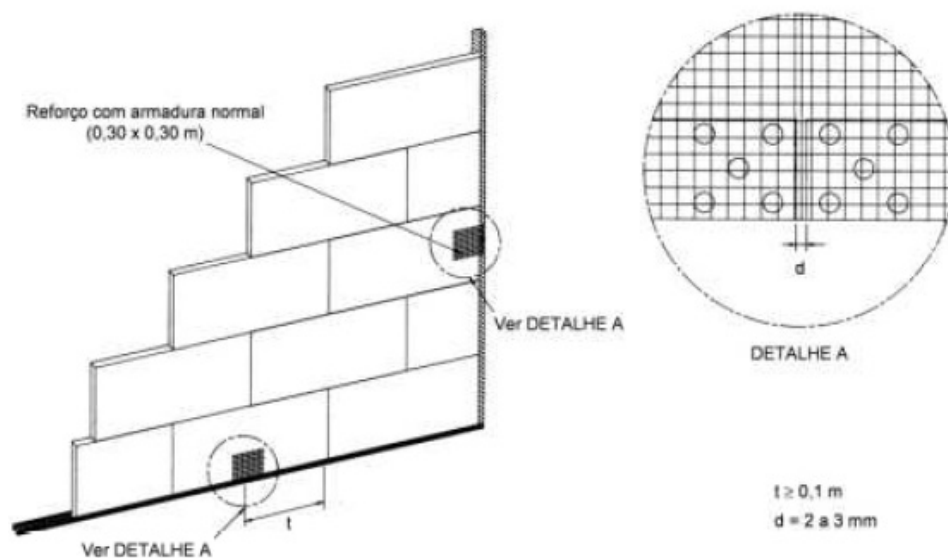
A

DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO ETICS

A.1 GENERALIDADES

O sistema ETICS é caracterizado por apresentar dificuldade de execução em locais como os perfis de arranque, janelas, platibandas, cunhais, etc. Para que estes pontos sejam correctamente executados revela-se essencial a existência de desenhos pormenorizados à escala que permitam aos executantes compreender com facilidade aquilo que têm de cumprir. Apresentam-se em anexo alguns pormenores construtivos desses pontos.

A.2 PORMENORES CONSTRUTIVOS



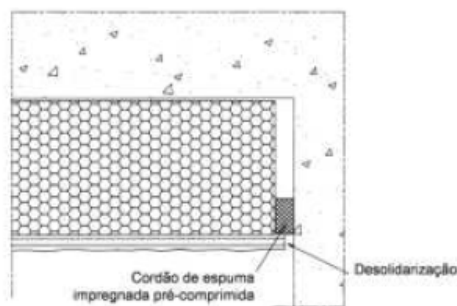
Aplicação do sistema – Início dos trabalhos

Fig.A.1 – Aplicação do ETICS – Início dos trabalhos [7]



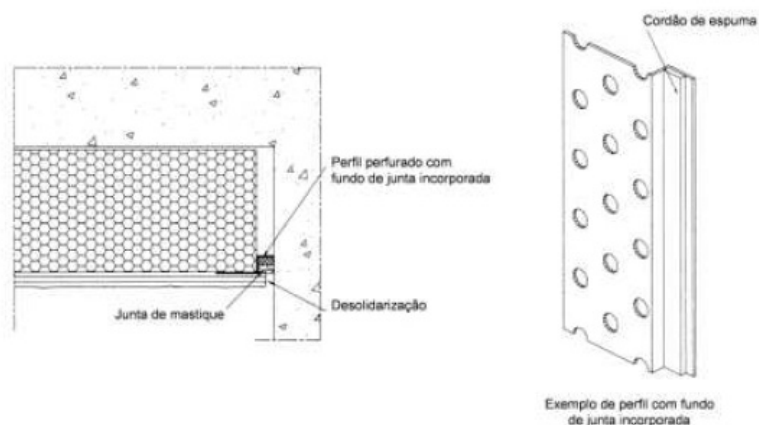
Aplicação do sistema – Colocação das placas de isolamento

Fig.A.2 – Aplicação do ETICS – Colocação das placas de isolamento [7]



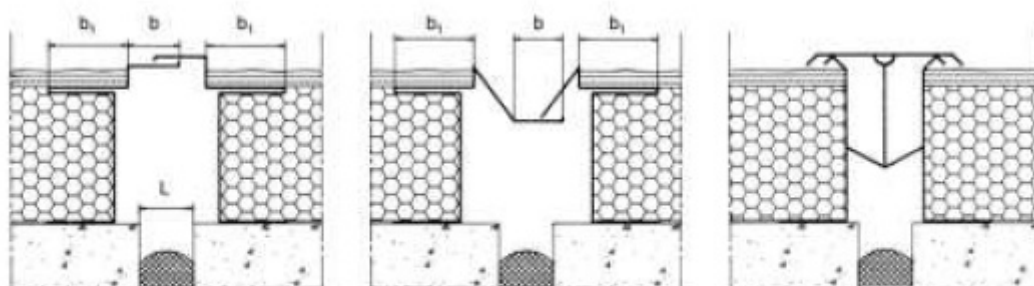
Aplicação do sistema – Ligação com elementos da fachada

Fig.A.3 – Aplicação do ETICS – Ligação com elementos da fachada [7]



Aplicação do sistema – Ligação com elementos da fachada

Fig.A.4 – Aplicação do ETICS – Ligação com elementos da fachada [7]



A estanquidade ao ar deverá ser realizada ao nível da parede de suporte, antes da aplicação do sistema de isolamento térmico.

O cobre-juntas deverá:

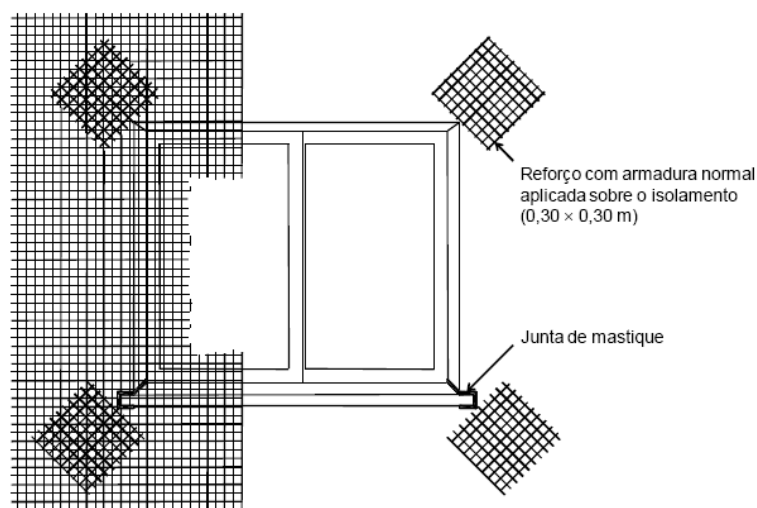
- Constituir uma barreira à precipitação;
- Absorver os movimentos entre os dois limites do sistema;
- Ser realizado em material durável;
- Resistir às diversas solicitações a que poderá estar sujeito;
- Manter-se fixo, atendendo aos movimentos previsíveis da construção.

$b \geq 20 \text{ mm}$

$b_1 \geq 25 \text{ mm}$

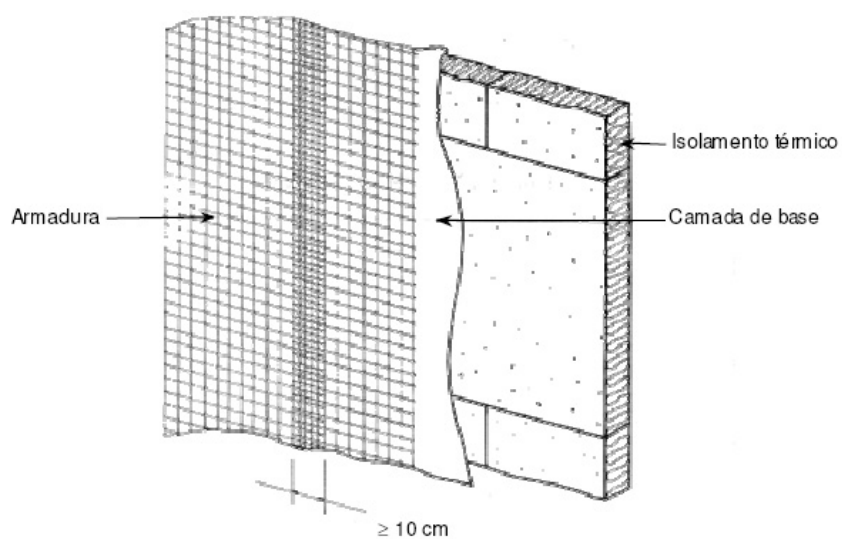
Aplicação do sistema – Juntas de dilatação

Fig.A.5 – Aplicação do ETICS – Juntas de dilatação [7]



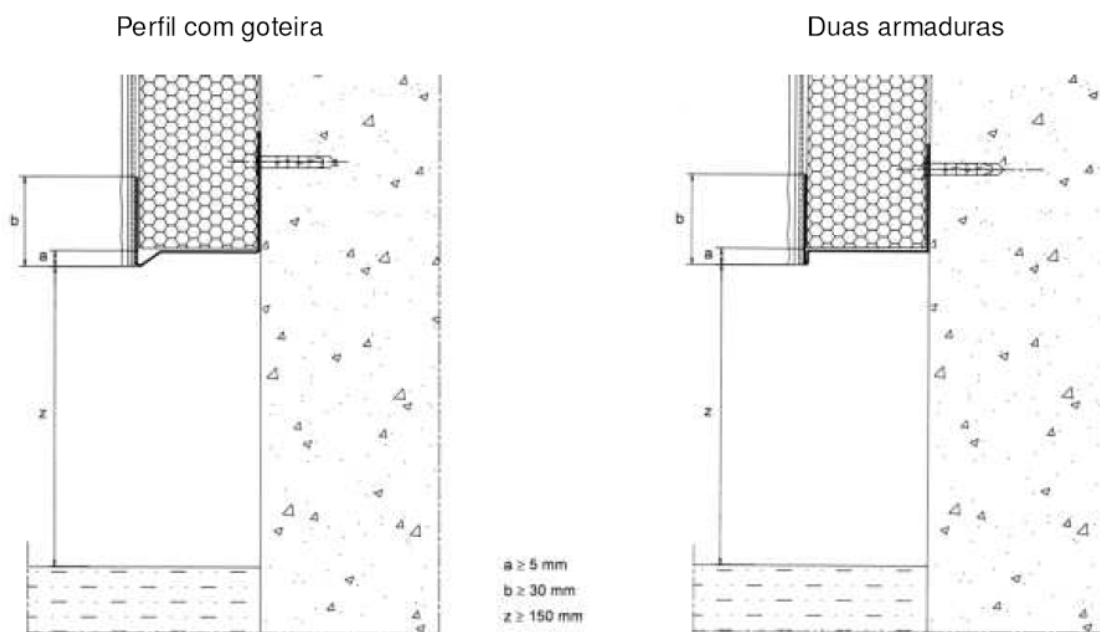
Aplicação do sistema – Reforço de armadura no contorno dos vãos

Fig.A.6 – Aplicação do ETICS – Reforço da armadura no contorno dos vãos [7]



Aplicação do sistema – Emendas da armadura

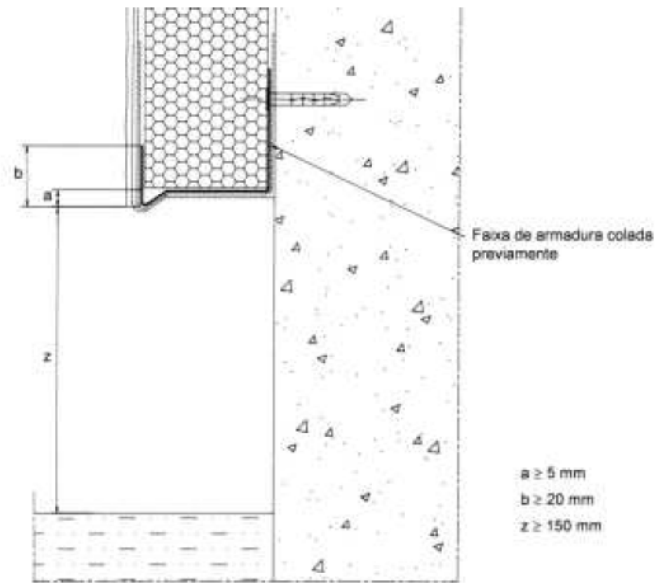
Fig.A.7 – Aplicação do ETICS – Emendas da armadura [7]



Limite inferior do sistema – Perfil de arranque (corte vertical)

Fig.A.8 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7]

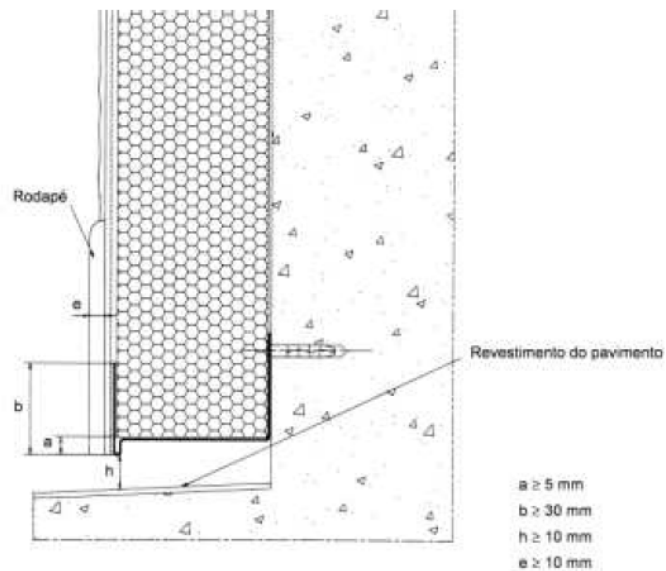
Reboco reveste a face inferior do perfil



Limite inferior do sistema – Perfil de arranque (corte vertical)

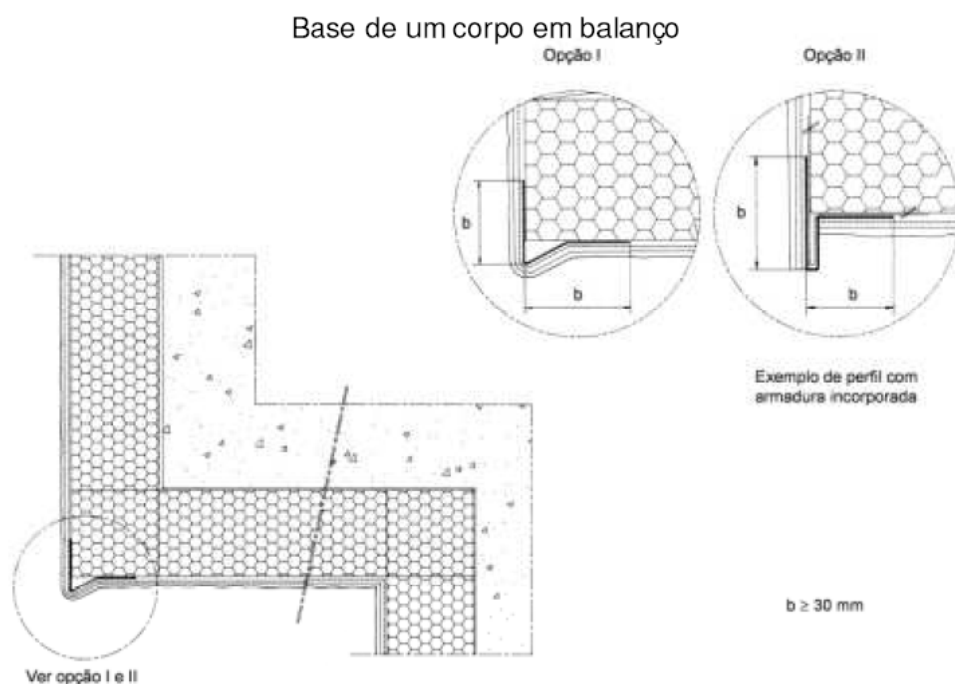
Fig.A.9 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7]

Ligação com pavimento de uma varanda



Limite inferior do sistema – Perfil de arranque (corte vertical)

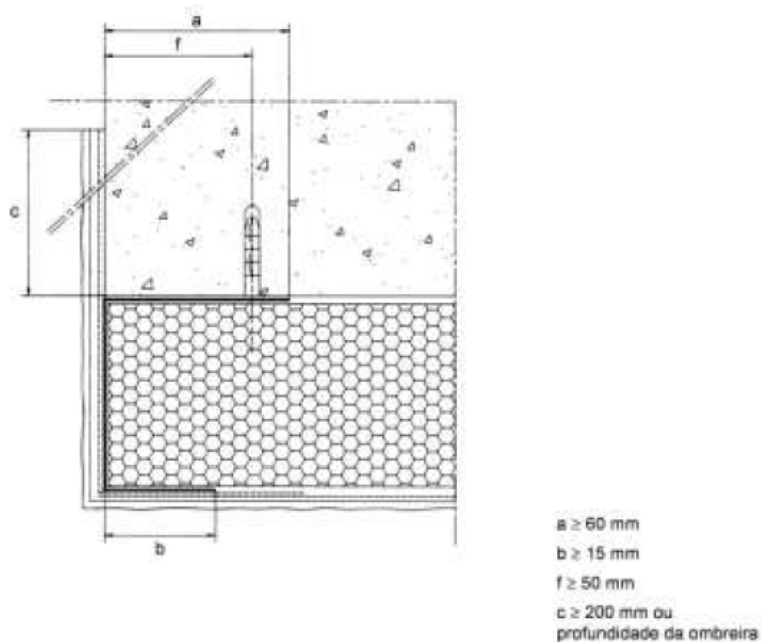
Fig.A.10 – Aplicação do ETICS – Perfil de arranque do limite inferior do sistema [7]



Limite inferior do sistema (corte vertical)

Fig.A.11 – Aplicação do ETICS – Limite inferior do sistema [7]

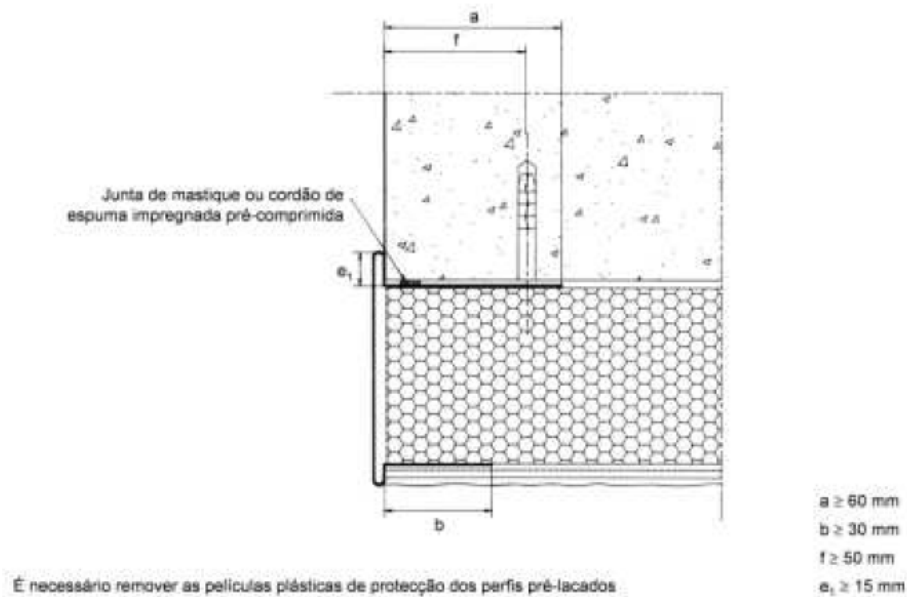
Perfil perfurado



Limite lateral (corte horizontal)

Fig.A.12 – Aplicação do ETICS – Limite lateral [7]

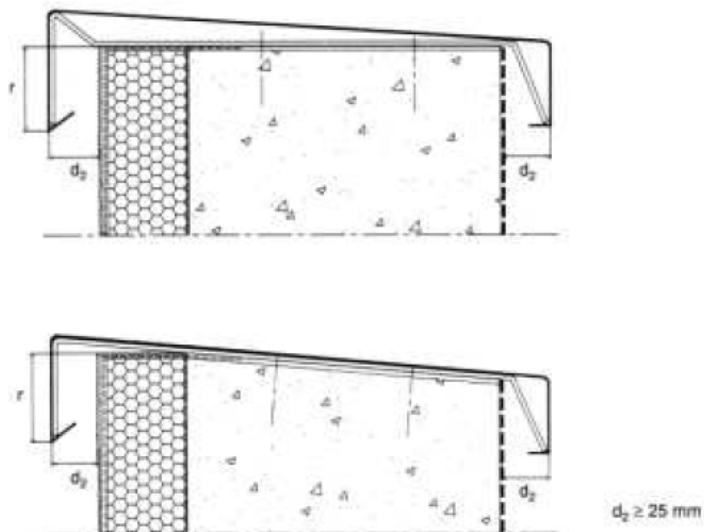
Perfil à vista



Limite lateral (corte horizontal)

Fig.A.13 – Aplicação do ETICS – Limite lateral [7]

Platibandas

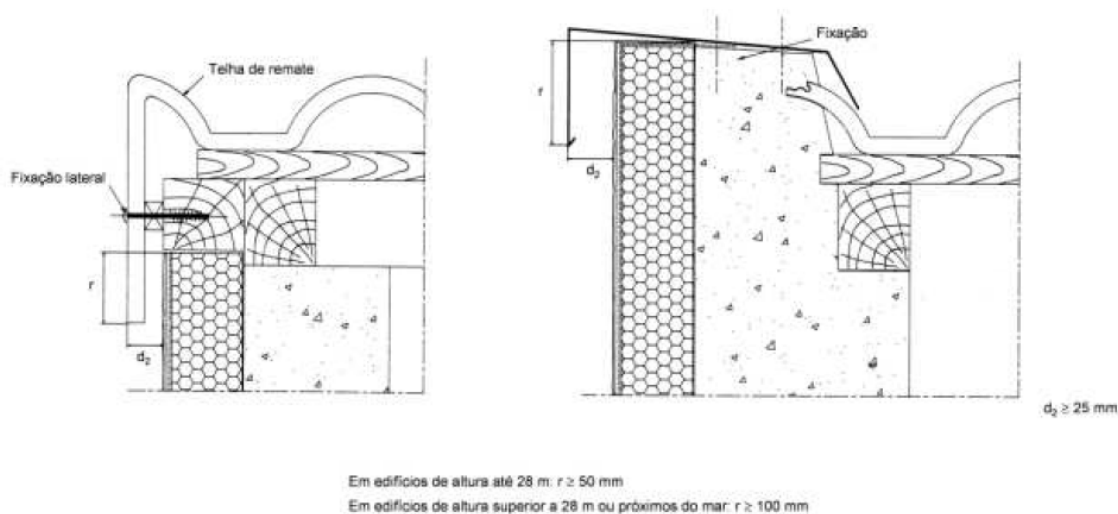


Em edifícios de altura até 28 m: $r \geq 50 \text{ mm}$
 Em edifícios de altura superior a 28 m ou próximos do mar: $r \geq 100 \text{ mm}$

Limite superior do sistema (corte vertical)

Fig.A.14 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]

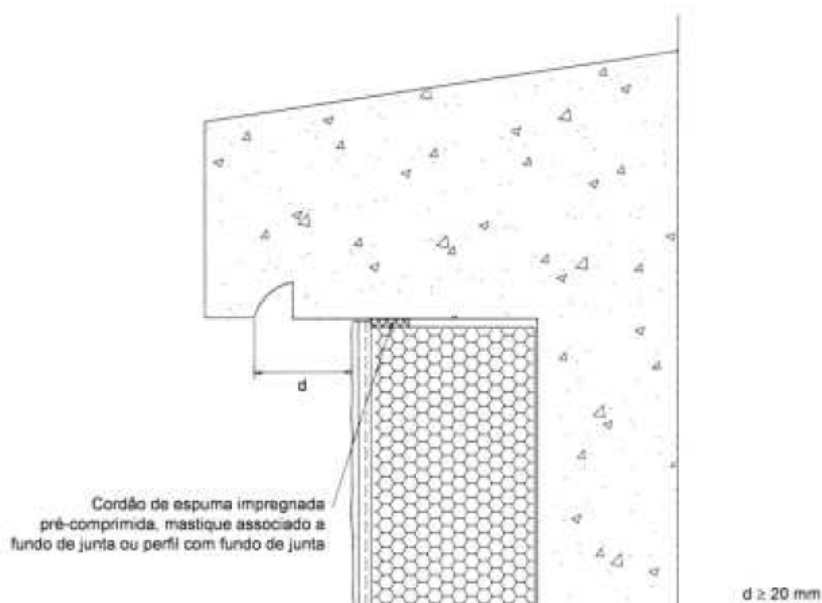
Empenas



Limite superior do sistema (corte vertical)

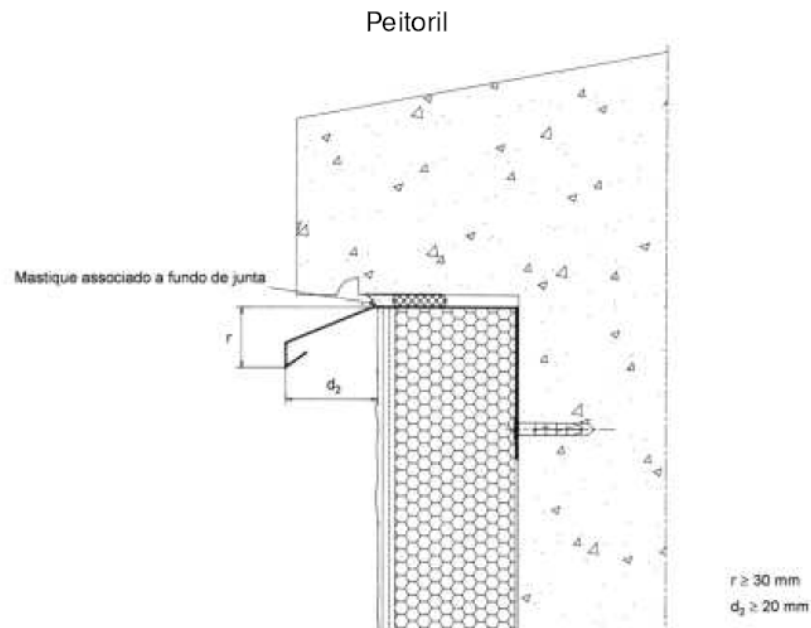
Fig.A.15 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]

Peitoril



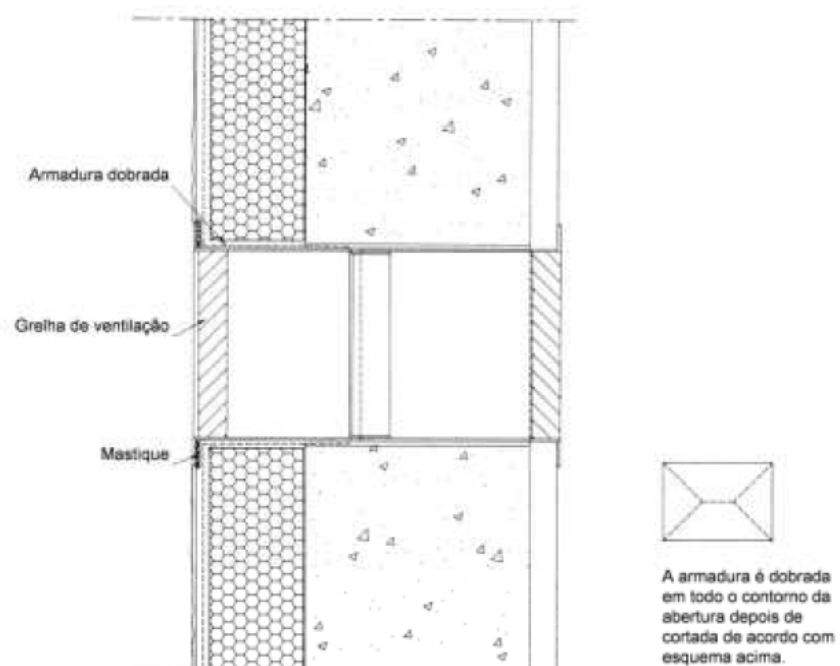
Limite superior do sistema (corte vertical)

Fig.A.16 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]



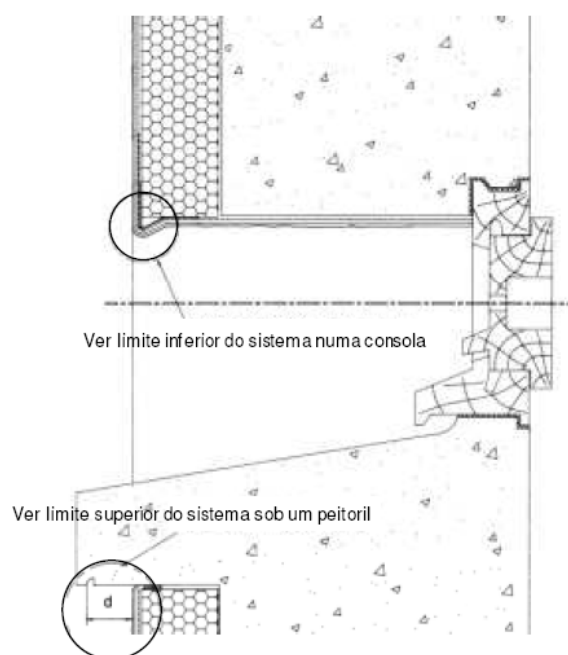
Limite superior do sistema (corte vertical)

Fig.A.17 – Aplicação do ETICS – Limite superior do sistema [7]



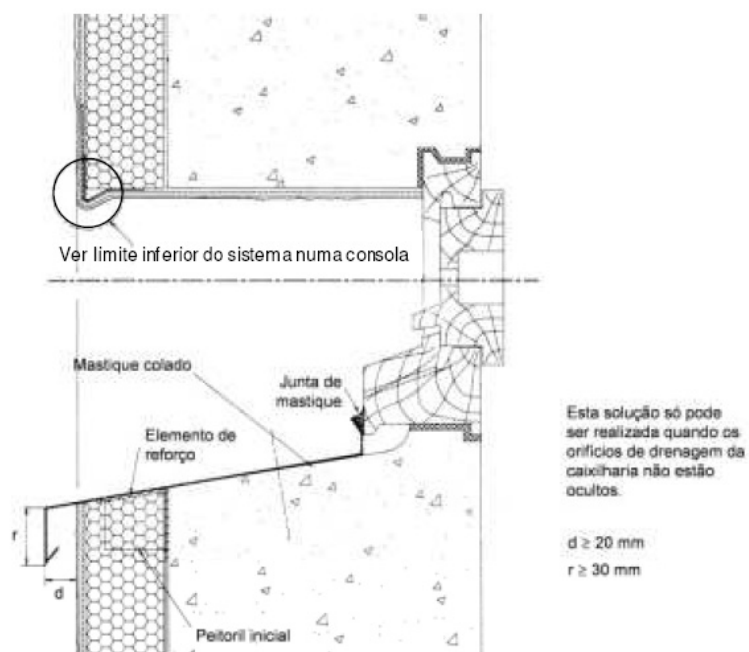
Abertura de ventilação (corte vertical)

Fig.A.18 – Aplicação do ETICS – Abertura de ventilação [7]



Intervenção mantendo o peitoril original (corte vertical)

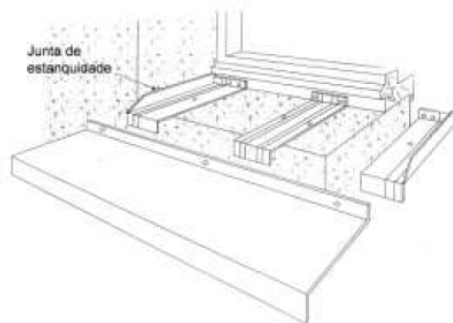
Fig.A.19 – Aplicação do ETICS – Intervenção mantendo o peitoril original [7]



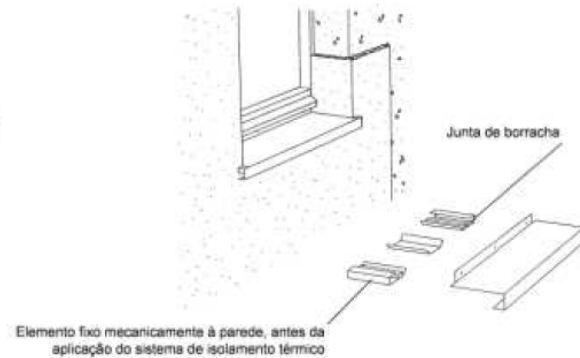
Intervenção aplicando um novo peitoril (corte vertical)

Fig.A.20 – Aplicação do ETICS – Intervenção aplicando um novo o peitoril [7]

ETICS não contorna as ombreiras

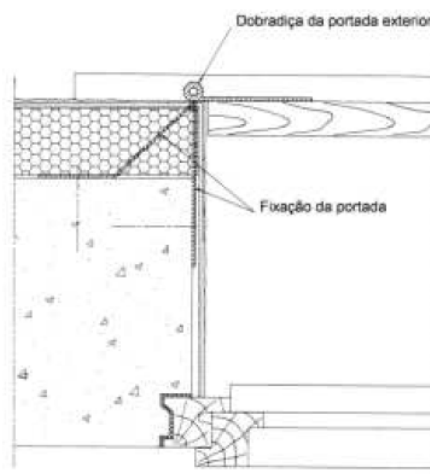


ETICS contorna as ombreiras



Fixação dos peitoris

Fig.A.21 – Aplicação do ETICS – Fixação dos peitoris [7]



Fixação dos dispositivos de oclusão dos vãos (corte horizontal)

Fig.A.22 – Aplicação do ETICS – Fixação dos dispositivos de oclusão dos vãos [7]

B

DETALHES CONSTRUTIVOS DA SOLUÇÃO FACHADA VENTILADA

B.1 GENERALIDADES

Tal como o sistema ETICS, também a fachada ventilada apresenta algumas dificuldades de execução junto de alguns locais como os perfis de arranque, janelas, platibandas, cunhais, etc. Para que estes pontos sejam correctamente executados revela-se essencial a existência de desenhos pormenorizados à escala que permitam aos executantes compreender com facilidade aquilo que têm de cumprir. Apresentam-se em anexo alguns pormenores construtivos desses pontos.

B.2 PORMENORES CONSTRUTIVOS

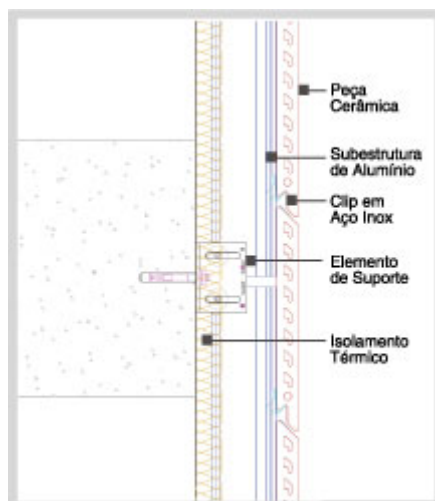


Fig.B.1 – Aplicação da fachada ventilada – Detalhe vertical da solução [47]

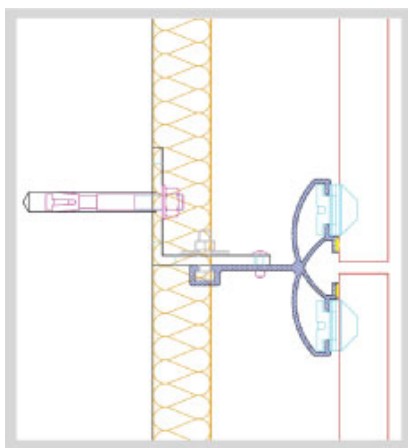


Fig.B.2 – Aplicação da fachada ventilada – Detalhe horizontal da solução [47]

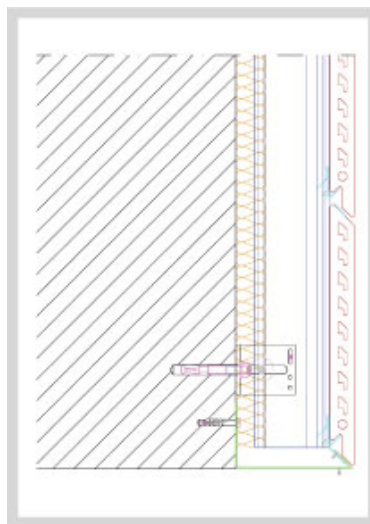


Fig.B.3 – Aplicação da fachada ventilada – Remate de fundo [47]

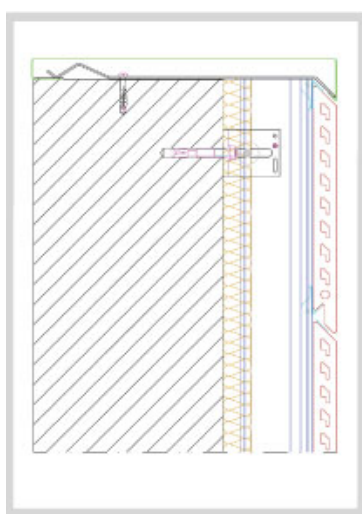


Fig.B.4 – Aplicação da fachada ventilada – Remate de topo [47]

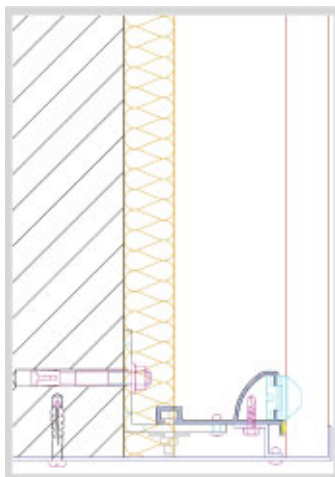


Fig.B.5 – Aplicação da fachada ventilada – Secção horizontal lateral [47]

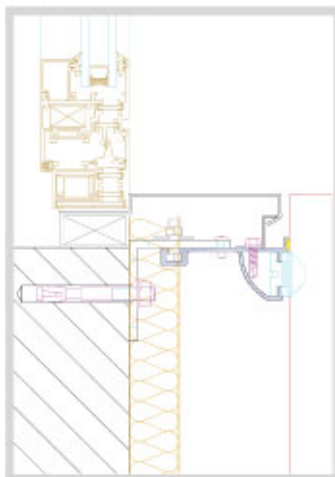


Fig.B.6 – Aplicação da fachada ventilada – Secção horizontal lateral [47]

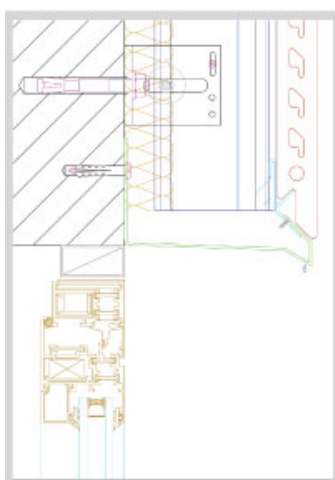


Fig.B.7 – Aplicação da fachada ventilada – Janela – secção vertical superior [47]

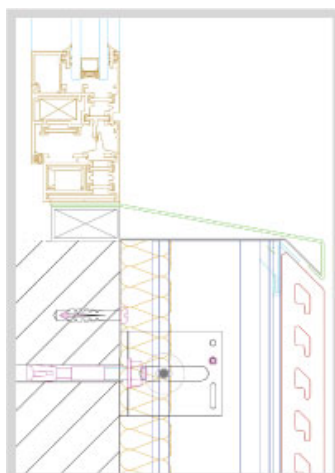


Fig.B.8 – Aplicação da fachada ventilada – Janela – secção vertical inferior [47]

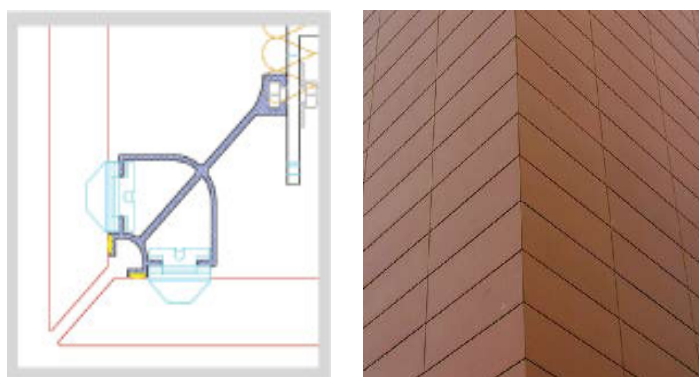


Fig.B.9 – Aplicação da fachada ventilada – Canto com chanfre a 45° [47]

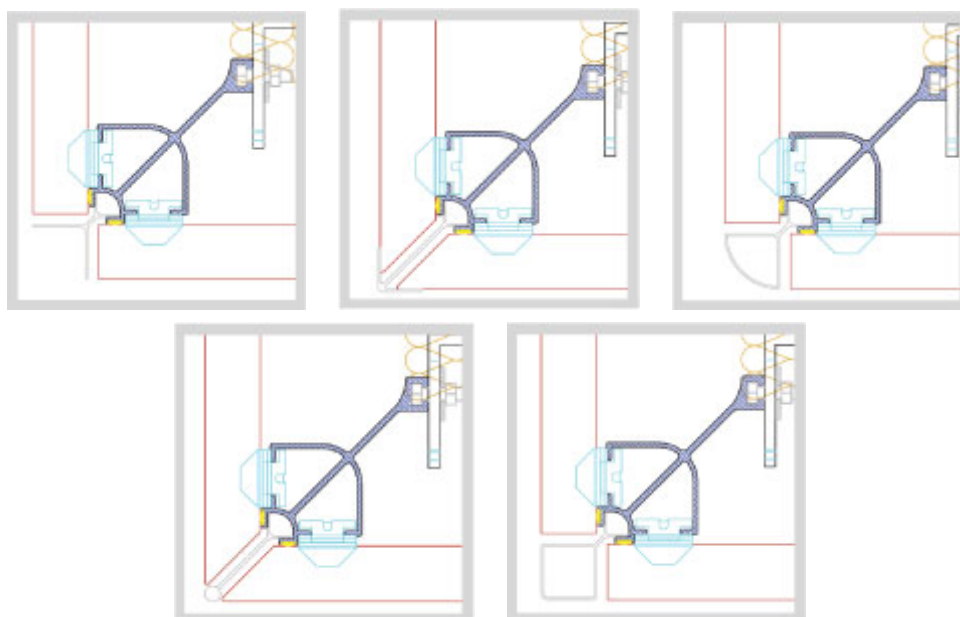


Fig.B.7 – Aplicação da fachada ventilada – Canto com perfil de alumínio – várias soluções [47]

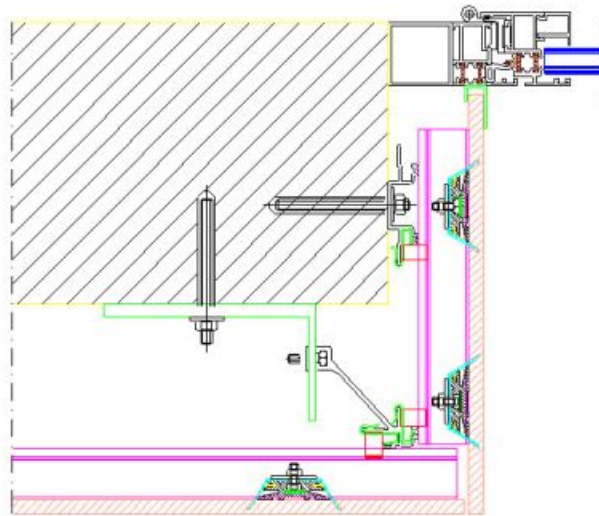


Fig.B.8 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema oculto [48]

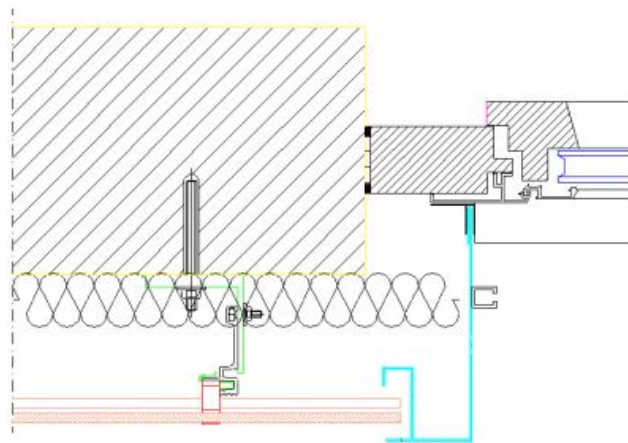


Fig.B.9 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema sobreposto [48]

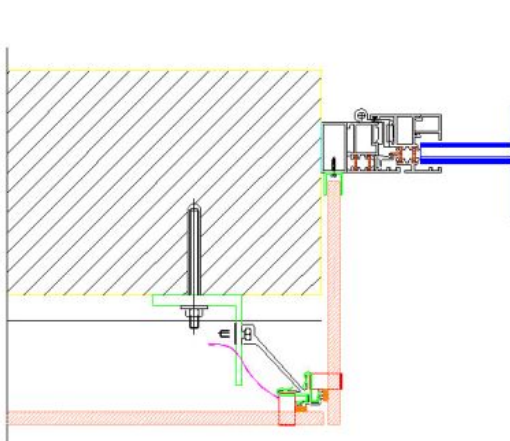


Fig.B.10 – Aplicação da fachada ventilada – Remate da janela com sistema à vista [48]

C

RELATÓRIO DA ANÁLISE HIGROTÉRMICA DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO PELO INTERIOR COM OS PROGRAMAS CONDENSA 13788 E CONDENSA 2000

C.1 GENERALIDADES

Serve o presente anexo para demonstrar os relatórios completos fornecidos pelo programa Condensa 2000 e pelo Condensa 13788 sobre a análise efectuada no âmbito deste trabalho ao elemento construtivo constituído por uma alvenaria de granito rebocada em ambas as faces à qual foi aplicada a solução de reabilitação pelo interior composta por XPS suportado por placas de gesso cartonado ou por alvenaria de tijolo sendo estes espaçados da alvenaria de granito por uma caixa-de-ar não ventilada.

C.2 RELATÓRIO DO CONDENSA 2000 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM GESSO CARTONADO

INTRODUÇÃO DE DADOS

Voltar		Calcular		Gráficos	
Período analisado [h].....				8760	
N.º de intervalos de tempo				12	
N.º de camadas				6	
1/he [m²·C/W]..	0,04	1/hi [m²·C/W]..		0,13	
dx exterior ...	0,005	dx interior		0,005	
Prefere Trabalhar com		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Higrometria Interior Humidade Relativa Interior </div>			

Fig.C.1 – Dados relativos aos intervalos de tempo da análise

N.º Camada	Espessura [m]	dx [m]	λ [W/m.°C]	π [g/(m.h.mmHg)]
1	0,03	0,003	1,3	5,00E-03
2	0,4	0,04	2,8	3,00E-04
3	0,03	0,003	1,3	3,15E-03
4	0,03	0,003	0,1667	9,50E-02
5	0,04	0,004	0,037	8,50E-04
6	0,0125	0,00125	0,25	1,20E-02

Fig.C.2 – Dados relativos ao elemento construtivo

N.º Intervalo de Tempo	Tint [°C]	Text [°C]	Higrometria [g/m3]	HRExt [%]	Duração [h]
1	15	9,3	3,21	81	744
2	15	10,1	2,97	80	672
3	15	11,5	2,55	75	744
4	17	12,9	2,13	74	720
5	20	15,1	1,47	74	744
6	20	18,1	0,57	74	720
7	20	19,9	0,2	73	744
8	20	19,8	0,2	73	744
9	20	19	0,3	76	720
10	17	16,2	1,14	80	744
11	15	12,3	2,31	81	720
12	15	9,9	3,03	81	744

Fig.C.3 – Dados relativos às condições climáticas exteriores e interiores

Quadro 3: Resultados sobre fluxos e condensações

ΔT [h]	$\Sigma \Delta T$ [h]	Tint [°C]	Text [°C]	Hyint [g/m3]	HRExt [%]	Fterm [W/m²]	Fent [mg/(m².h)]	Fsaída [mg/(m².h)]	Fcond [mg/(m².h)]	Fcond/Fent [%]	HUM TOT [g]	Σ HUM [g]
744	744	15	9,3	3,21	81	3,413	20,215	1,516	18,699	92,5%	13,912	13,912
672	1416	15	10,1	2,97	80	2,934	12,665	1,627	11,038	87,2%	7,418	21,330
744	2160	15	11,5	2,55	75	2,096	1,755	1,755	0,000	0,0%	0,000	21,330
720	2880	17	12,9	2,13	74	2,455	1,436	1,436	0,000	0,0%	0,000	21,330
744	3624	20	15,1	1,47	74	2,934	0,931	0,931	0,000	0,0%	0,000	21,330
720	4344	20	18,1	0,57	74	1,138	0,351	0,351	0,000	0,0%	0,000	21,330
744	5088	20	19,9	0,2	73	0,060	0,140	0,140	0,000	0,0%	0,000	21,330
744	5832	20	19,8	0,2	73	0,120	0,137	0,137	0,000	0,0%	0,000	21,330
720	6552	20	19	0,3	76	0,599	0,182	0,182	0,000	0,0%	0,000	21,330
744	7296	17	16,2	1,14	80	0,479	0,793	0,793	0,000	0,0%	0,000	21,330
720	8016	15	12,3	2,31	81	1,617	1,592	1,592	0,000	0,0%	0,000	21,330
744	8760	15	9,9	3,03	81	3,054	15,957	1,547	14,410	90,3%	10,721	32,051

Fig.C.4 – Resultados do programa Condensa 2000 – Ocorrência de condensações

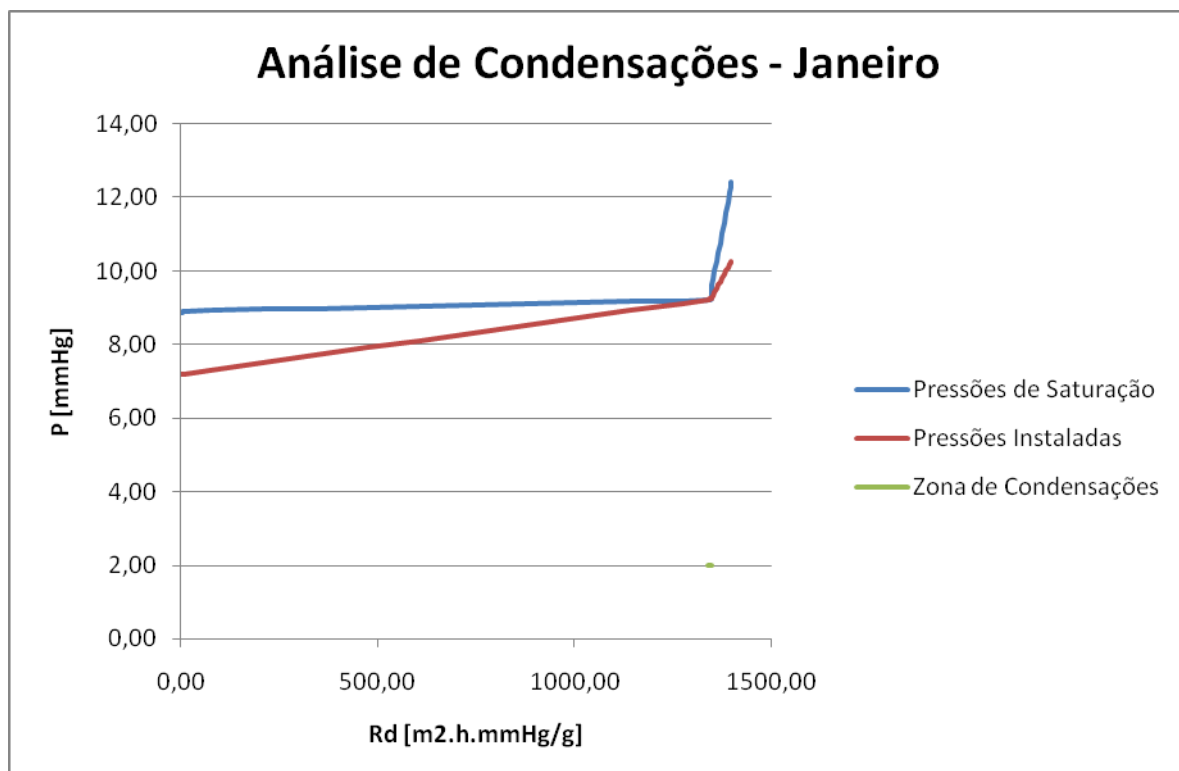


Fig.C.5 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Janeiro

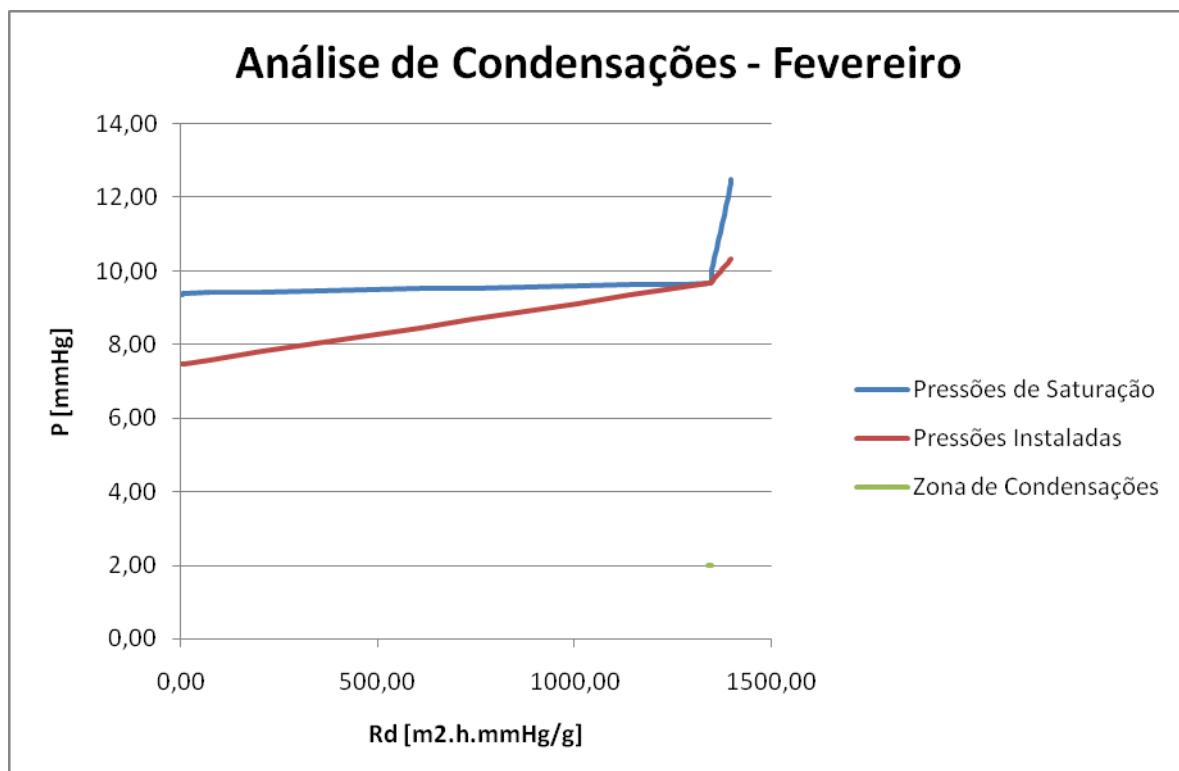


Fig.C.6 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Fevereiro

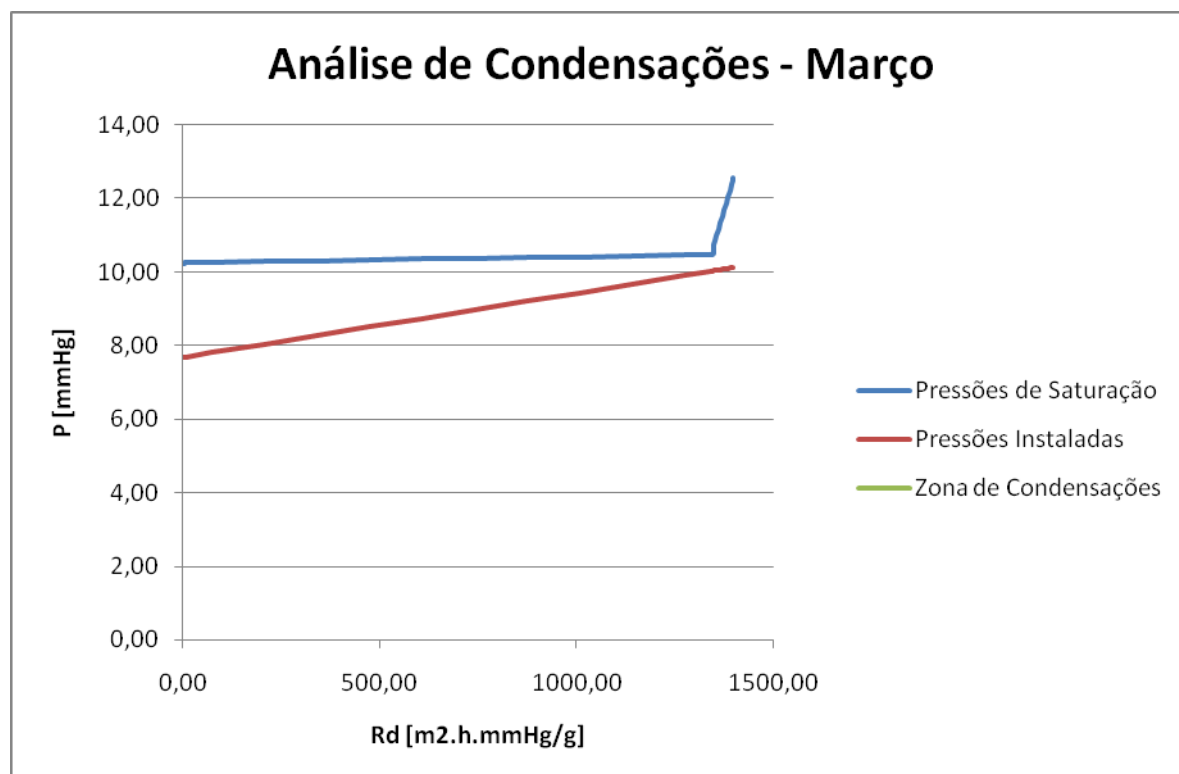


Fig.C.7 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Março

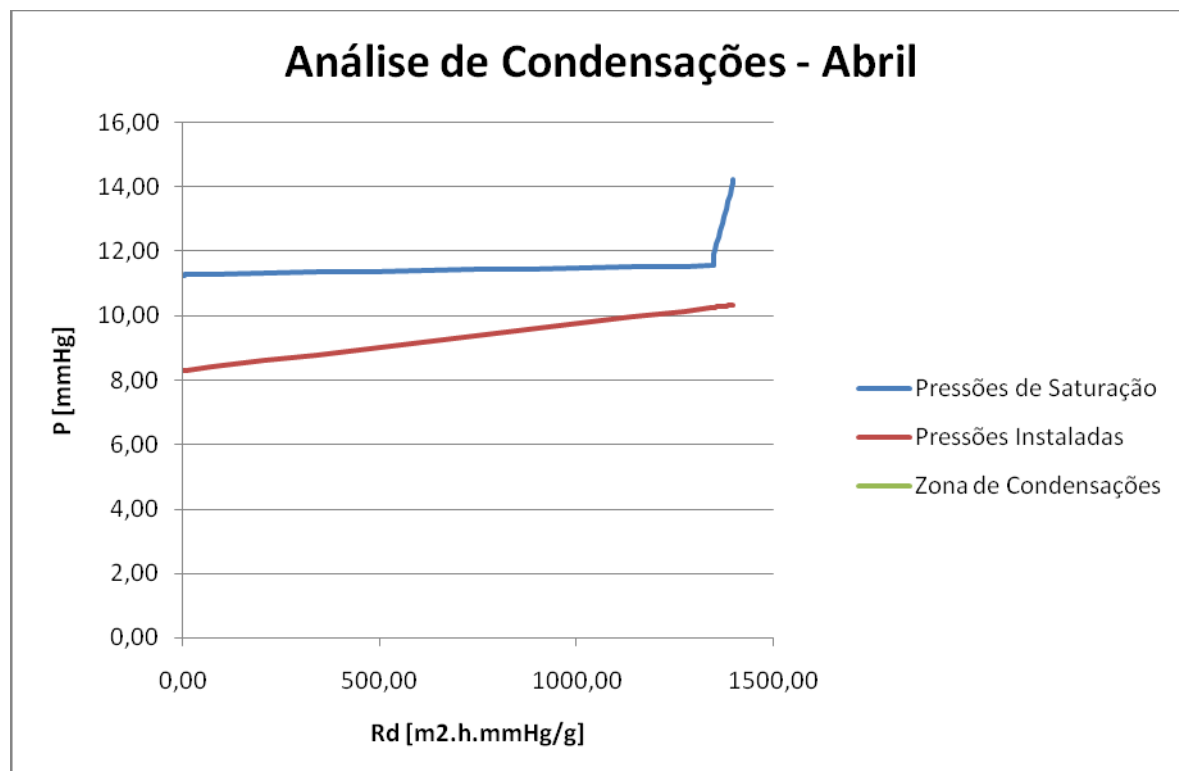


Fig.C.8 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Abril

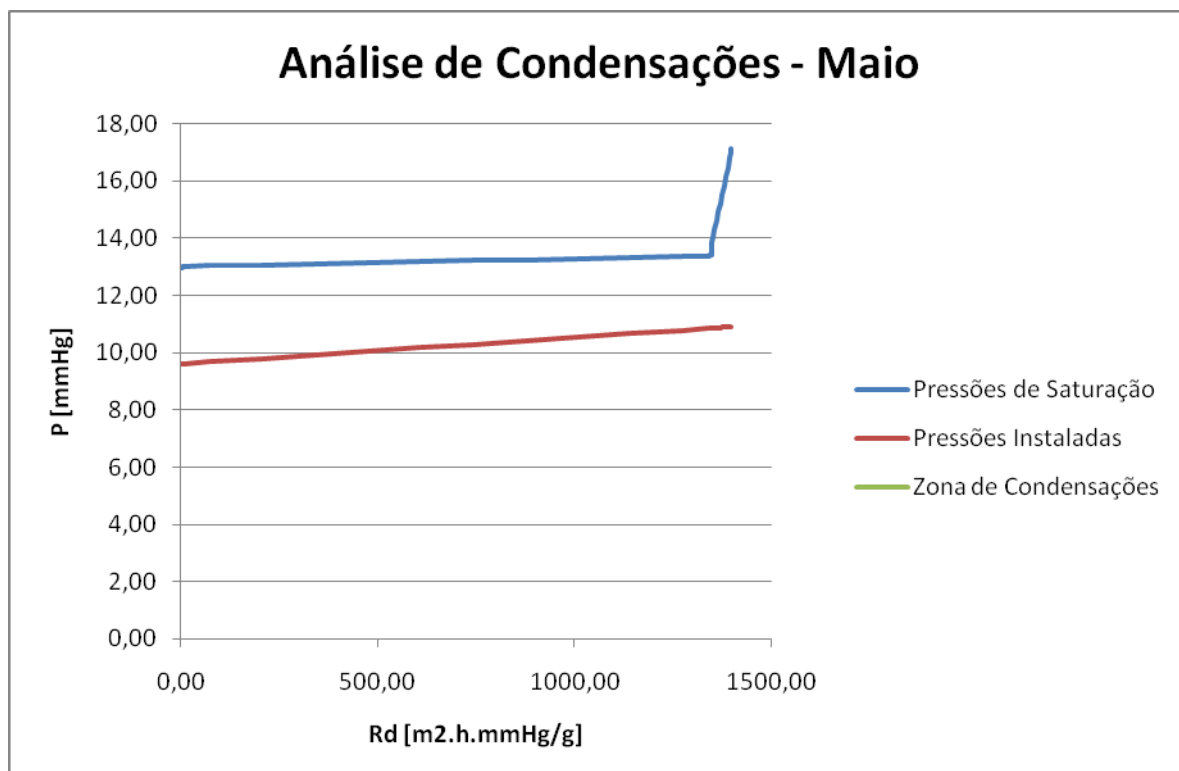


Fig.C.9 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Maio

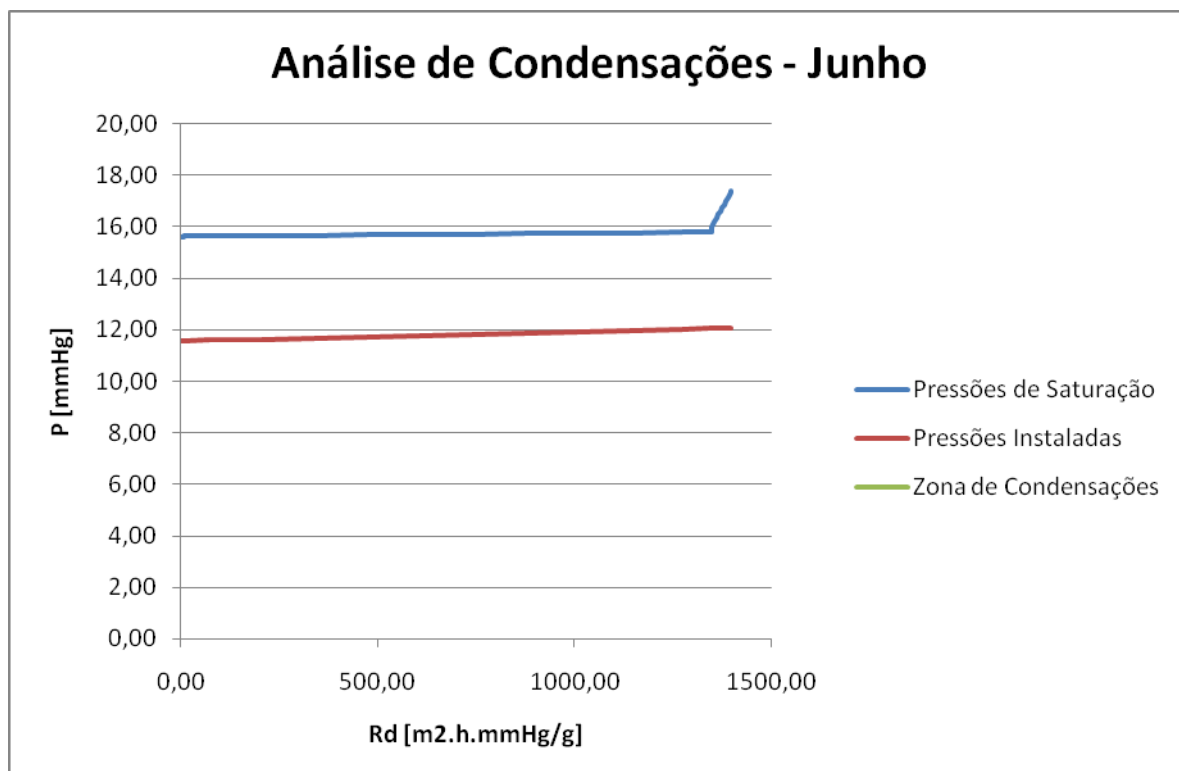


Fig.C.10 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Junho

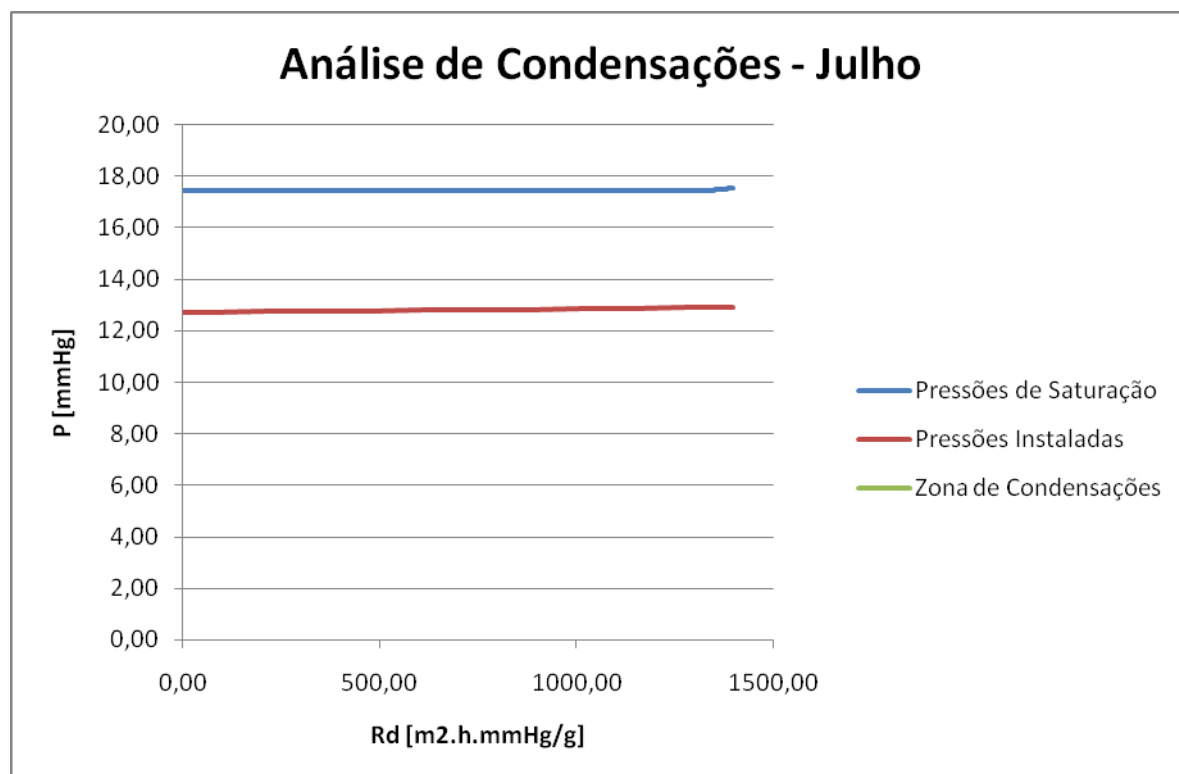


Fig.C.11 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Julho

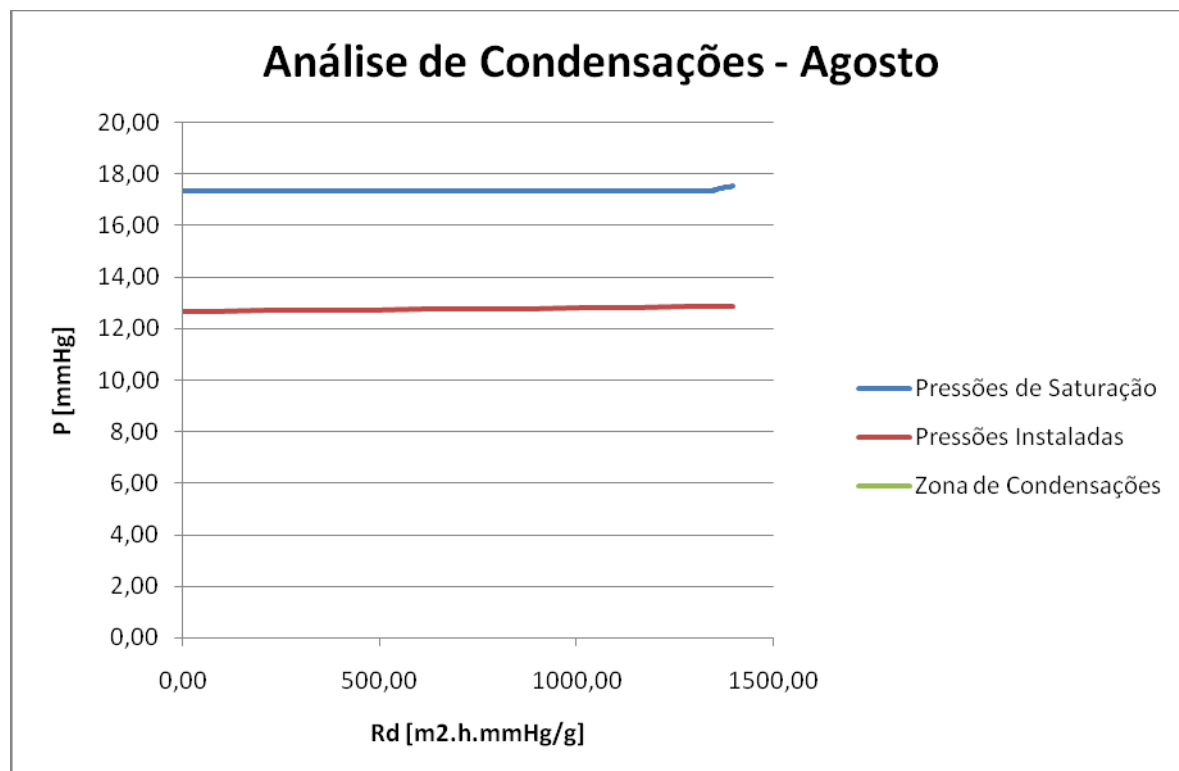


Fig.C.12 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Agosto

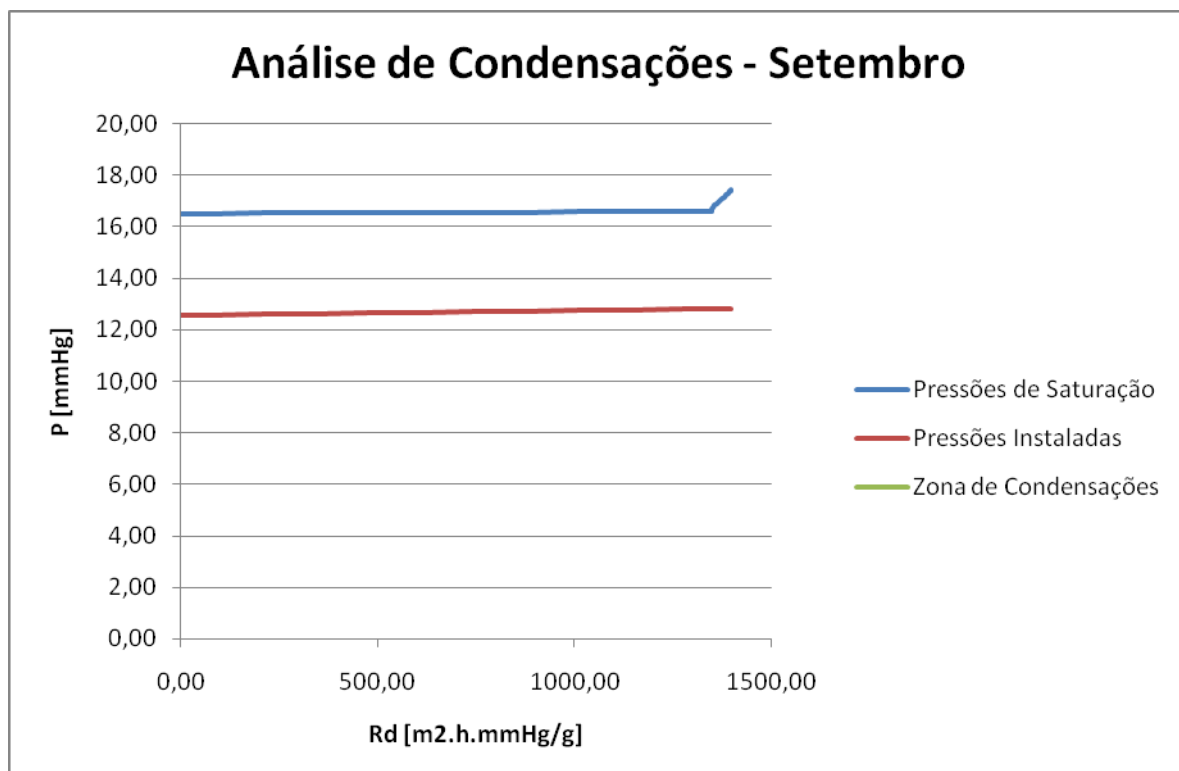


Fig.C.13 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Setembro

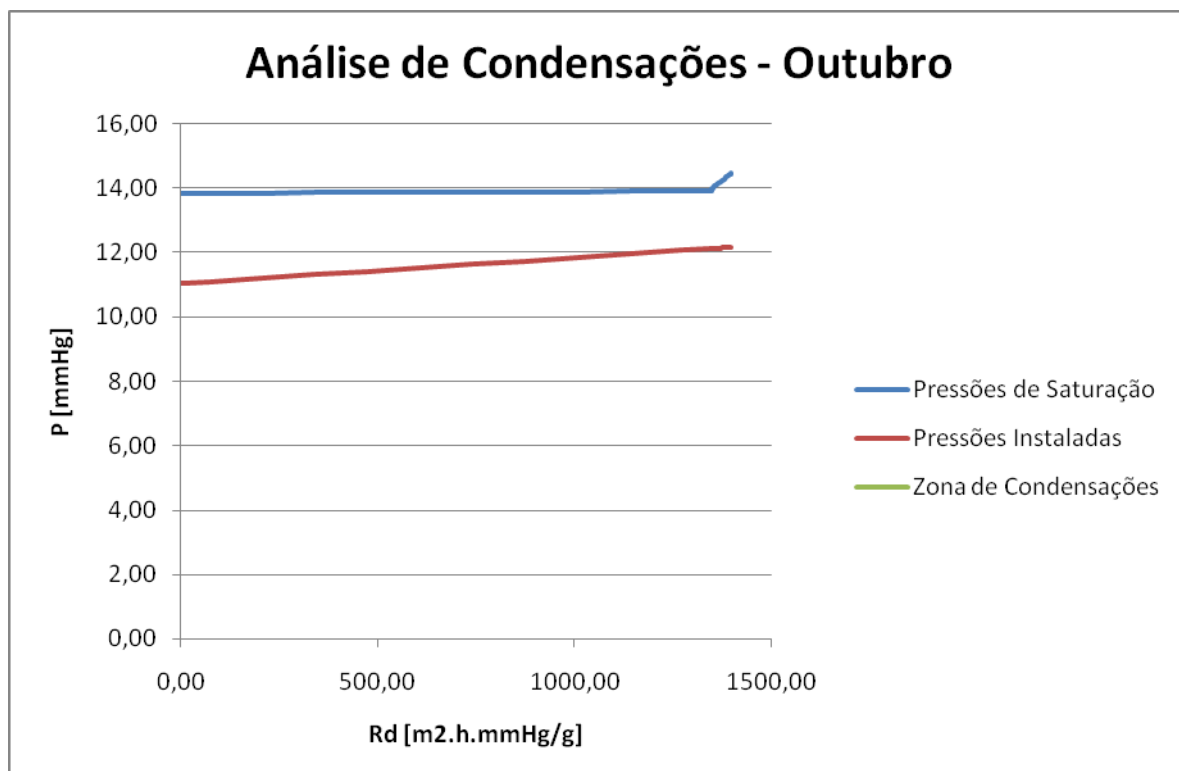


Fig.C.14 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Outubro

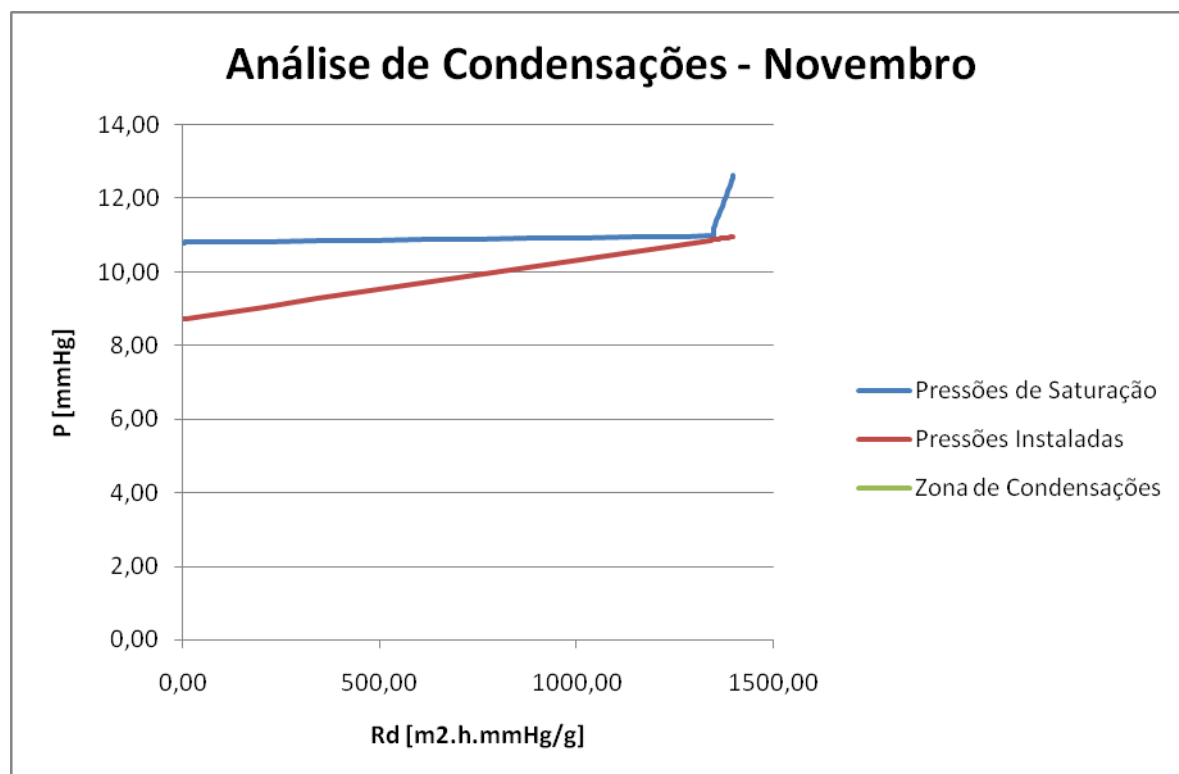


Fig.C.15 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Novembro

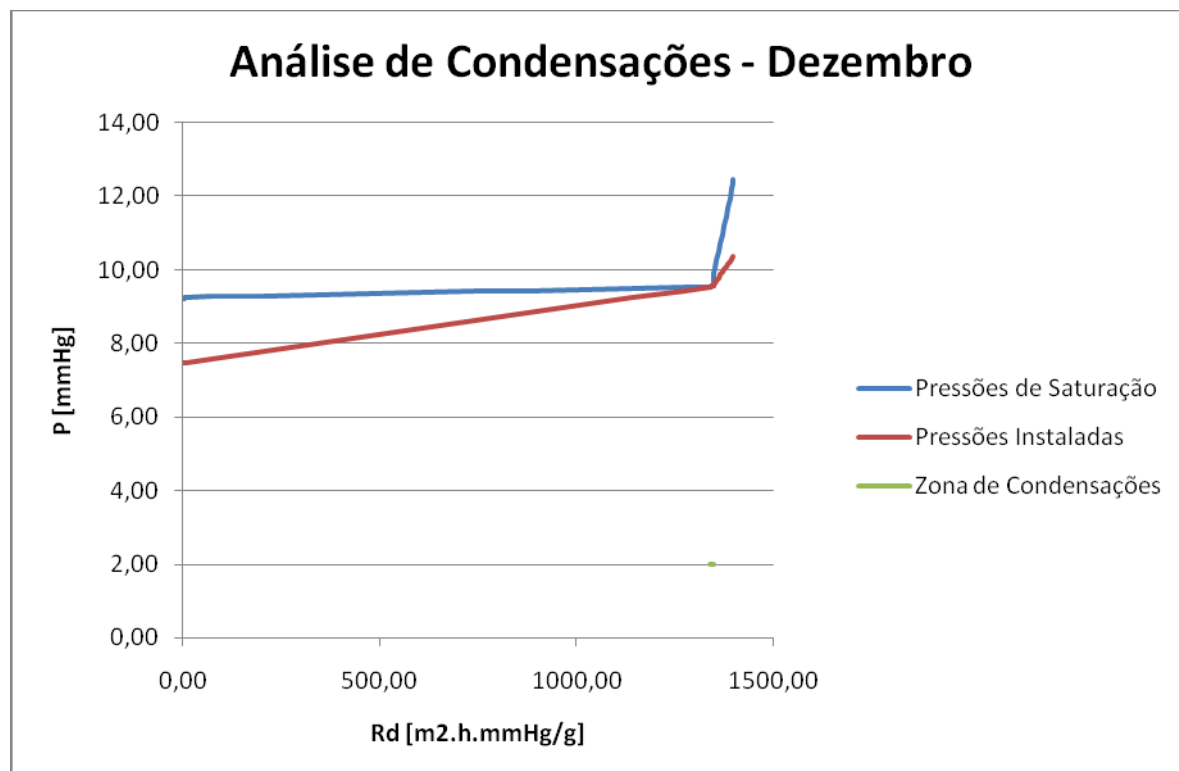


Fig.C.16 – Condensa 2000 – Análise gráfica de condensações - Dezembro

C.3 RELATÓRIO DO CONDENA 13788 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM GESSO CARTONADO

CONDENA 13788
Análise de Condensações Internas

1. Condições da Análise**1.1 Condições gerais**

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 6

1.2 Condições Exteriores

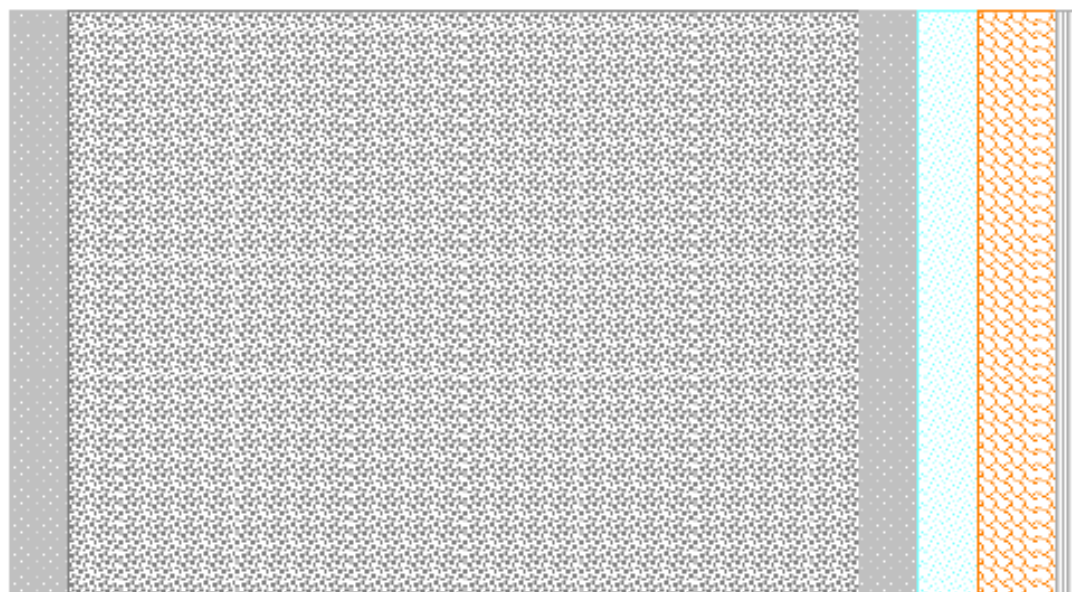
Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Porto

1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

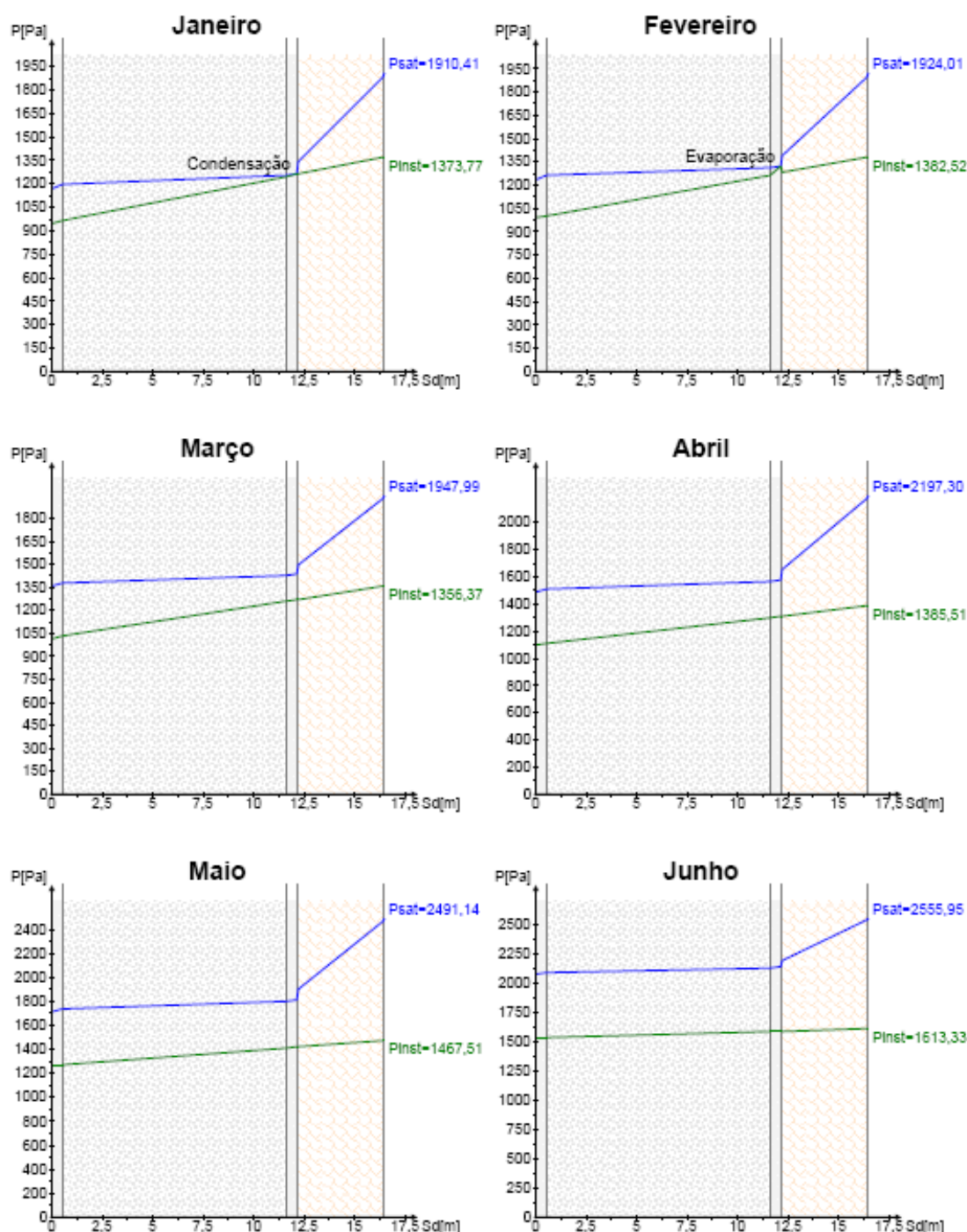
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
reboco exterior	0,03	1,3	18	
alvenaria granito	0,4	2,8	27,67	
reboco exterior	0,03	1,3	18	
caixa-de-ar	0,03	0,1667	1	
XPS	0,04	0,037	105	
gesso cartonado	0,0125	0,25	8	

**3. Elemento Construtivo**

CONDENSA 13788

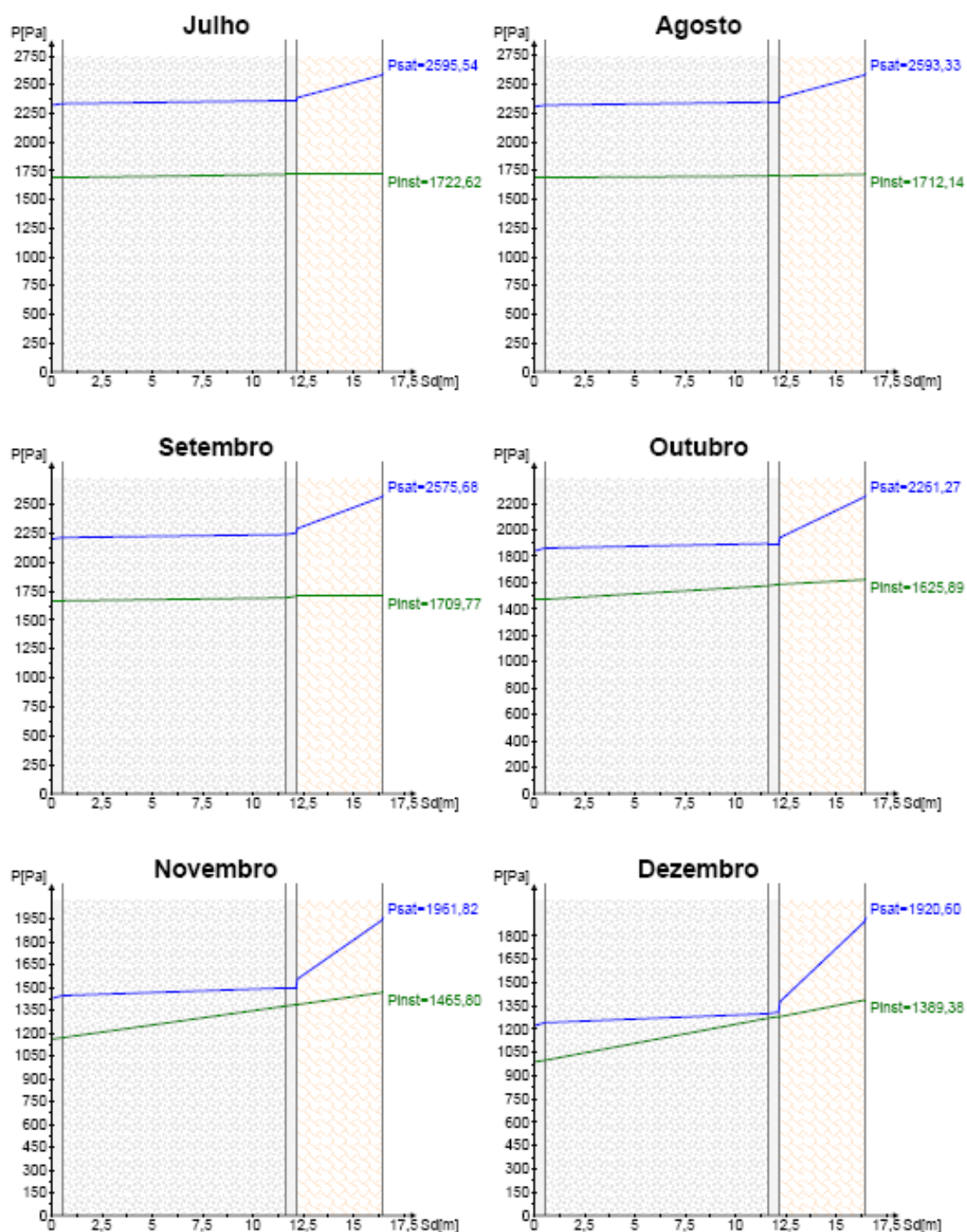
Análise de Condensações Internas

4. Gráficos



CONDENSA 13788

Análise de Condensações Internas



5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	te [°C]	pe [%]	Pe [Pa]	ti [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Mat [kg/m²]
Janeiro	744	9,3	81	948,443	18,0	3,21	1373,773	1,97E-11	0,0001
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	18,0	2,97	1382,525	-2,68E-09	0
Março	744	11,5	75	1017,192	18,0	2,55	1356,367	0,00E+00	0
Abril	720	12,9	74	1100,524	20,0	2,13	1385,507	0,00E+00	0
Maio	744	15,1	74	1269,404	22,0	1,47	1467,509	0,00E+00	0
Junho	720	18,1	74	1536,118	22,0	0,57	1613,329	0,00E+00	0
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,0	0,2	1722,618	0,00E+00	0
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,0	0,2	1712,139	0,00E+00	0
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,3	1709,775	0,00E+00	0
Outubro	744	16,2	80	1472,498	20,0	1,14	1625,894	0,00E+00	0
Novembro	720	12,3	81	1158,120	18,0	2,31	1465,800	0,00E+00	0
Dezembro	744	9,9	81	987,479	18,0	3,03	1389,379	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

C.4 RELATÓRIO DO CONDENA 13788 – SOLUÇÃO COM SUPORTE EM ALVENARIA DE TIJOLO

CONDENA 13788
Análise de Condensações Internas

1. Condições da Análise**1.1 Condições gerais**

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 6

1.2 Condições Exteriores

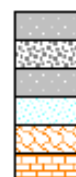
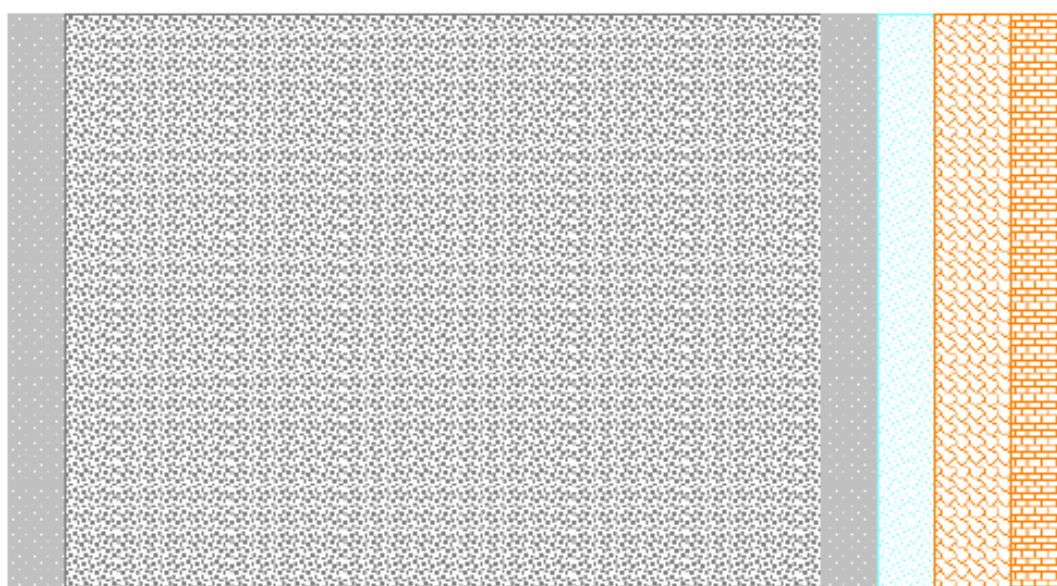
Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Porto

1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

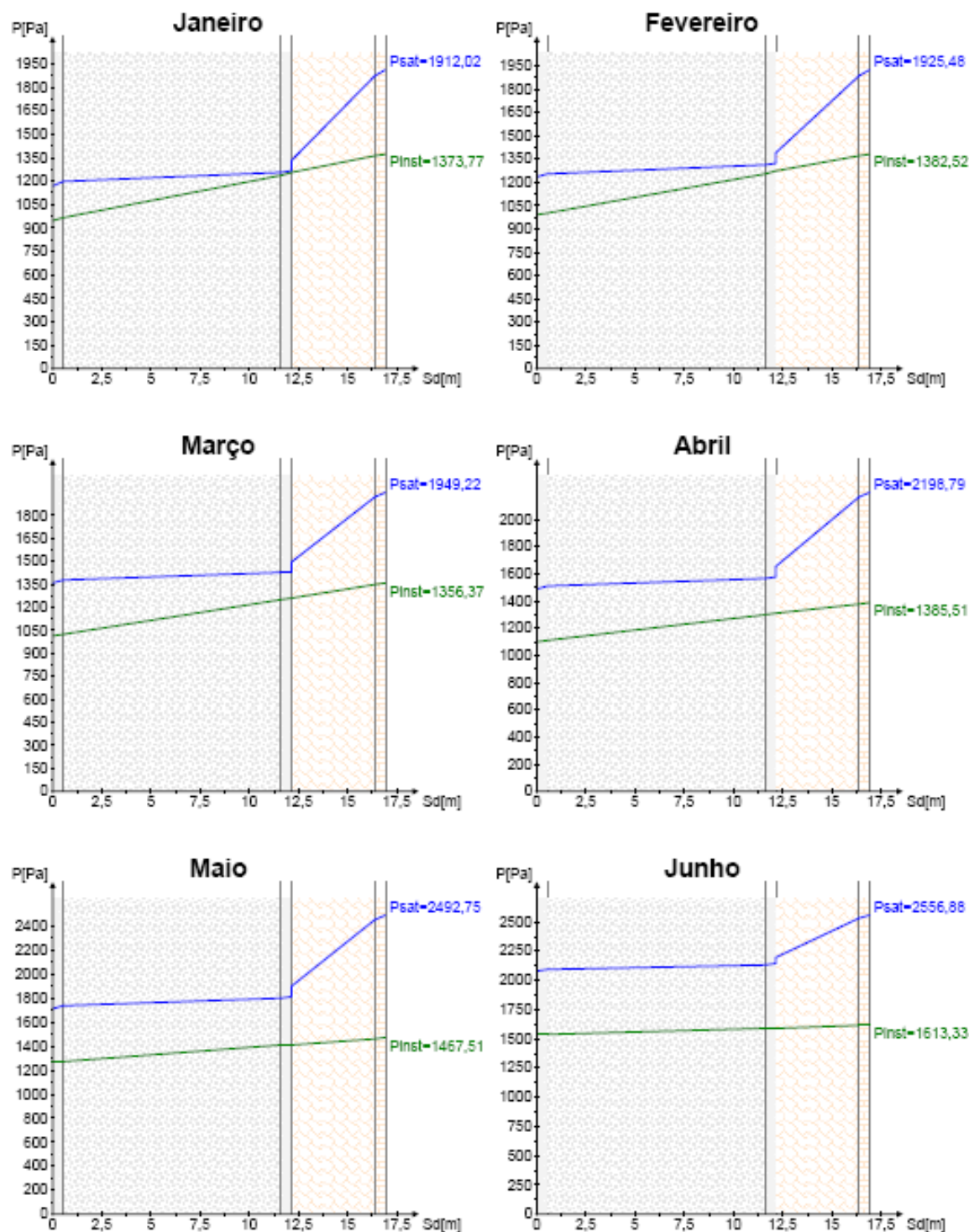
2. Camadas do Elemento Construtivo

Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
reboco exterior	0,03	1,3	18	
alvenaria granito	0,4	2,8	27,67	
reboco exterior	0,03	1,3	18	
caixa-de-ar	0,03	0,1667	1	
XPS	0,04	0,037	105	
tijolo de 3	0,03	0,43	18	

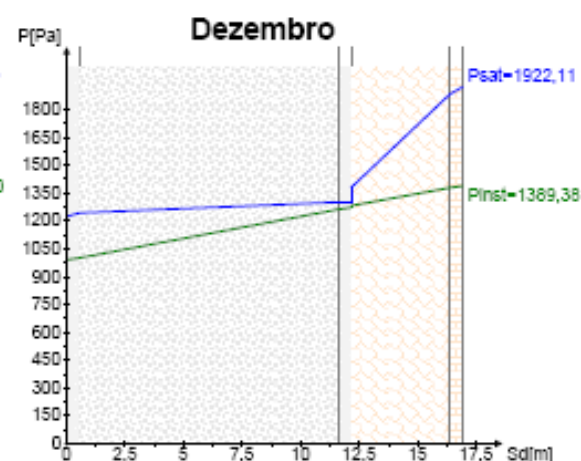
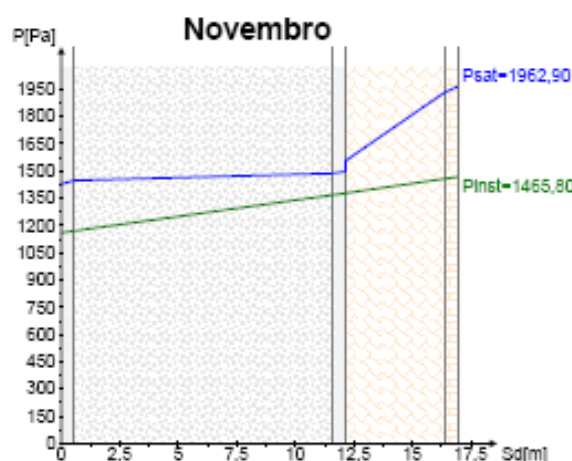
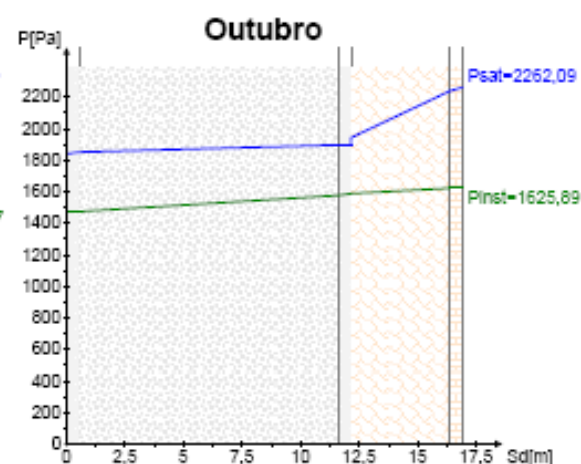
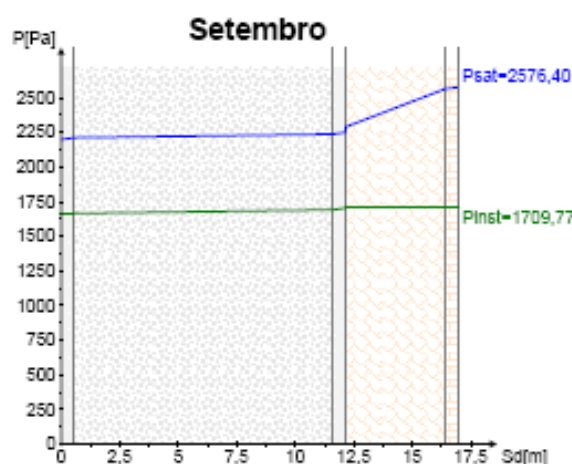
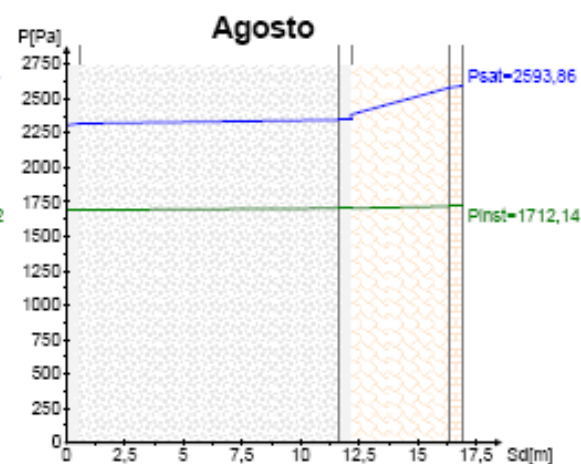
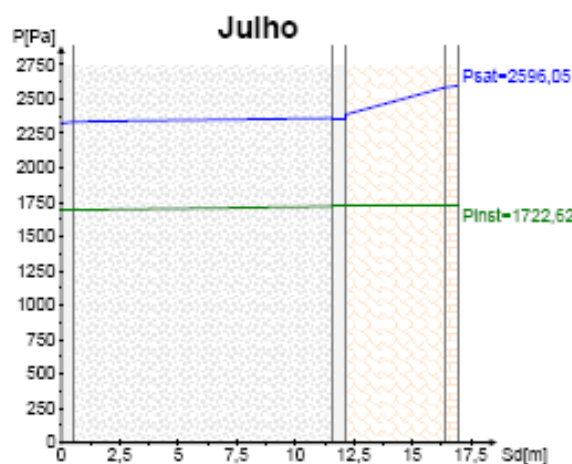
**3. Elemento Construtivo**

CONDENSA 13788
Análise de Condensações Internas

4. Gráficos



CONDENSA 13788 Análise de Condensações Internas



5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	9,3	81	948,443	18,0	3,21	1373,773
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	18,0	2,97	1382,525
Março	744	11,5	75	1017,192	18,0	2,55	1356,367
Abril	720	12,9	74	1100,524	20,0	2,13	1385,507
Maió	744	15,1	74	1269,404	22,0	1,47	1467,509
Junho	720	18,1	74	1536,118	22,0	0,57	1613,329
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,0	0,2	1722,618
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,0	0,2	1712,139
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,3	1709,775
Outubro	744	16,2	80	1472,498	20,0	1,14	1625,894
Novembro	720	12,3	81	1158,120	18,0	2,31	1465,800
Dezembro	744	9,9	81	987,479	18,0	3,03	1389,379

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.